

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria de l'Energia

**DISSENY ÒPTIM A PARTIR D'ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA PER SATISFER LES NECESSITATS
ENERGÈTIQUES D'UNA ZONA RESIDENCIAL**



Memòria i Annexos

Autor:	Fernández Martín, Iván
Director:	Martín Cañadas, María Helena
Co-Director:	De la Hoz Casas, Jorge
Convocatòria:	Octubre 2018

Resum

Aquest projecte estudia l'impacte que hagués tingut la implantació d'un sistema de generació d'energia solar fotovoltaica a l'any 2017 a una comunitat de veïns ubicada a Barbastro, Osca.

A partir del consum de cada habitatge e inclús del de les zones comuns de la comunitat de veïns s'ha estudiat el recurs solar de la zona i s'ha buscat la possible implementació del seu aprofitament de formes variades.

S'han realitzat varies simulacions per comprovar la diferencia entre l'aprofitament del recurs solar de forma individual per a cada habitatge i de l'aprofitament del mateix com a una zona d'autoconsum compartida. A cadascuna de les simulacions s'ha cercat el nombre de superfície a instal·lar òptima i la capacitat de l'emmagatzematge idoni en cas que es donés.

Seguidament s'ha procedit a comprovar la viabilitat tècnica de la solució més òptima aconseguida i s'ha cercat la viabilitat econòmica real del mateix mitjançant un anàlisi financer.

Així doncs, es tracta de veure com l'autoconsum compartit enfront de l'autoconsum individual, aconsegueix cobrir les necessitats energètiques de diferents punts de consum de forma eficient i rendible.

Resumen

Este proyecto estudia el impacto que hubiera tenido la implantación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en el año 2017 para una comunidad de vecinos ubicada en Barbastro, Huesca.

A partir del consumo de cada vivienda e incluso del de las zonas comunes de la comunidad de vecinos se ha estudiado el recurso solar de la zona y se ha buscado la posible implementación de su aprovechamiento de formas variadas.

Se han realizado varias simulaciones para comprobar la diferencia entre el aprovechamiento del recurso solar de forma individual para cada vivienda y del aprovechamiento del mismo como una zona de autoconsumo compartida. En cada una de las simulaciones se ha buscado el número de superficie a instalar óptima y la capacidad de almacenamiento idóneo en caso de que se diera.

Seguidamente se ha procedido a comprobar la viabilidad técnica de la solución más óptima conseguida y se ha buscado la viabilidad económica real de la misma mediante un análisis financiero.

Así pues, se trata de ver cómo el autoconsumo compartido frente al autoconsumo individual, logra cubrir las necesidades energéticas de diferentes puntos de consumo de una forma eficiente y rentable.

Abstract

This project studies the impact of the introduction of a photovoltaic solar energy generation system in the year 2017 for a community of neighbours, the community is located in Barbastro, Huesca.

From the consumption of each home and even from the common areas of the community of neighbours, the solar resource of the area has been studied and the implementation of it in a different ways

Several simulations have been performed to verify the difference between the use of the solar resource individually for each home and the use of it as a shared consumer area. In each of the simulations, the objective is looking for the optimal surface number to be installed and the ideal storage capacity in case it was needed.

Next, the technical viability of the most optimal solution achieved has been checked and the economic viability of the same has been realized through a financial analysis.

Then, the work is about seeing how shared self-consumption in front of individual self-consumption is able to cover the energy needs of different points of consumption in an efficient and profitable way.

Glossari

CUPS : Codi unificat del punt de subministrament.

PMD : Preu del mercat diari de l'energia.

HSP : Hores solar pic.

°C : Graus Centígrads.

PVPC : Preu de Venta al Petit Consumidor.

W : Watts, unitat de potencia.

Wh : Watts per hora, unitat d'energia.

A : Ampers, unitat d'intensitat.

V : Volts, unitat de voltatge.

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
GLOSSARI	IV
1. PREFACI	7
1.1. Origen del treball.....	7
1.2. Motivació.....	7
1.3. Requeriments previs	7
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del treball	9
2.2. Abast del treball	9
3. L'OBJECTE D'ESTUDI	10
3.1. Ubicació geogràfica	10
3.2. Necessitats energètiques	10
3.2.1. CUPS.....	11
3.2.2. Consums	11
3.3. Recurs solar	15
3.3.1. Irradiància.....	15
3.3.2. Superfície disponible	17
3.3.3. Panell fotovoltaic.....	18
3.4. Sistema d'acumulació.....	20
4. ESCENARIS D'ESTUDI	21
4.1. Introducció a les simulacions	21
4.1.1. Connexió a xarxa.....	21
4.2. Tipologies d'escenaris	22
4.2.1. Escenari original.....	22
4.2.2. Autoconsum individual.....	23
4.2.3. Autoconsum compartit	23
4.3. Simulacions.....	24
4.3.1. Escenari original.....	25
4.3.2. Autoconsum individual.....	26

4.3.3.	Escenari d'autoconsum compartit	32
4.4.	Conclusions.....	35
4.4.1.	Superfície de generació i d'acumulació.....	37
4.4.2.	Flux d'energia	37
4.4.3.	Costos	38
5.	VIABILITAT TÈCNICA DE LA SIMULACIÓ ESCOLLIDA:	41
5.1.	Estudi del dimensionat del camp fotovoltaic	41
5.1.1.	Determinació de la tensió nominal de funcionament	41
5.1.2.	Estimació del dimensionat del camp solar segons la simulació	41
5.1.3.	Avaluació de les perdudes de la instal·lació solar fotovoltaica	42
5.1.4.	Càlcul del número total de mòduls en paral·lel y en sèrie.....	43
5.1.5.	Càlcul de la capacitat total de las bateries d'emmagatzematge	43
5.1.6.	Dimensionat del regulador (convertidor DC/DC).....	45
5.1.7.	Altres elements a tenir en compte.....	46
6.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL.....	48
	CONCLUSIONS	49
	ANÀLISI ECONÒMICA	50
	BIBLIOGRAFIA	55
	ANNEX A.....	57
A1.	Documents tècnics dels equips utilitzats.....	58
	ANNEX B.....	63
A2.	Codi de les simulacions realitzades.....	63

1. Prefaci

1.1. Origen del treball

L'origen d'aquest treball ha estat degut a les recents circumstàncies històriques esdevingudes en l'àmbit de l'autoconsum compartit a Espanya. Anteriorment al 2 de juny de 2018 el Real Decret 900/2015 establia que l'autoconsum compartit era il·legal però el tribunal constitucional va anul·lar la prohibició del Govern. Així doncs, el tribunal constitucional va deixar en mans de les comunitats autònomes la regulació d'aquest.

1.2. Motivació

Durant els anys en que he cursat el grau d'Enginyeria de la Energia la principal recerca al llarg de la realització dels treballs ha estat crear un sistema de generació d'energia renovable, de qualsevol de les diferents fonts possibles, per tal de cobrir totes les necessitats energètiques requerides. És a dir, els treballs fins ara no han prioritzat el benefici econòmic en cap moment.

Cap a finals del quadrimestre anterior a la realització d'aquest estudi, vaig entrar a realitzar pràctiques a una empresa anomenada "Agua de Barbastro y Electricidad". A partir de treballar en aquesta empresa m'he adonat que la viabilitat tècnica d'un estudi la majoria de vegades acaba sent possible a costa d'un pressupost elevat.

Per tot això es pretén crear aquest estudi on la prioritització està en optimitzar el punt de vista econòmic, cercar aquell punt en que l'aprofitament del recurs solar es rentable a la par que sostenible.

1.3. Requeriments previs

A nivell acadèmic, els requeriments previs per a la realització d'aquest treball han estat el coneixement del recurs solar com a element indispensable. A més a més i per l'ús que se'n fa al llarg del treball també he considerat imprescindible el coneixement del funcionament del software AIMMS[26]. Tots aquests coneixements han estat aconseguits per la realització del grau d'enginyeria de l'energia.

Per altra banda, a nivell procedimental l'obtenció de dades de consum així com les dades de referència cadastral dels objectes d'estudi també han format part. Aquestes dades han estat

obtingudes gracies a la col·laboració de l'empresa "Ab energia" on mitjançant la seva cartera de clients han facilitat tot el necessari i s'han ofert a donar suport en tot moment.

2. Introducció

2.1. Objectius del treball

L'objectiu principal del treball ha estat la recerca del punt més òptim a nivell econòmic mitjançant l'aprofitament del recurs solars per a cobrir totes les necessitats energètiques de uns habitatges amb unes condicions específiques.

Dins dels objectius del treball s'inclou l'estudi de viabilitat tècnica de la instal·lació i un exhaustiu pressupost de la simulació més òptima obtinguda.

Mitjançant el software anomenat AIMMS [26], el qual es un software d'anàlisi prescriptiu que es pot utilitzar per a la integració i la gestió dels sistemes energètics es busca cobrir l'objectiu de les simulacions.

2.2. Abast del treball

Aquest treball es realitza com a una primera aproximació a l'autoconsum compartit, la diferenciació del que implica l'abolició de la prohibició del mateix respecte al model d'autoconsum que hi ha fins a dia d'avui.

S'ha realitzat una primera aproximació de l'estudi tècnic i econòmic de la implementació d'un sistema d'autoconsum compartit.

3. L'objecte d'estudi

3.1. Ubicació geogràfica

Els habitatges que es tenen com a objectes d'estudi, es troben ubicats al municipi de Barbastro, a la província d'Osca.

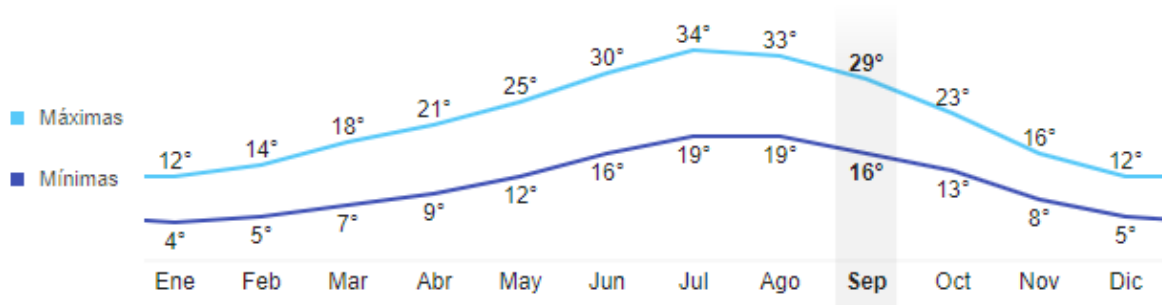
Els valors de latitud i longitud de la ubicació geogràfica que s'utilitzaran al llarg del treball són:

Barbastro	
Latitud(°)	42,0434839
Longitud(°)	0,12556264

Taula 1: Ubicació de Barbastro. (Font: Elaboració pròpia basada en [21])

El municipi de Barbastro no es caracteritza pas per tenir uns nivells alts de temperatura durant tot el llarg de l'any, el seu comportament és el de la majoria de poblacions a la península Ibèrica. A la imatge 1 es mostra un gràfic de l'evolució de les temperatures de forma anual on es pot observar la màxima de 34°C al més de Juliol i la mínima de 5°C al mes de Gener.

Temperaturas (°C)



Il·lustració 1: Representació de la temperatura al llarg del any a Barbastro. (Font: Elaboració pròpia basada en [17])

3.2. Necessitats energètiques

Els punts de consum del treball són un total de 11 CUPS (Codi unificat del punt de subministrament), 10 dels qual fan referència a habitatges mentre que un d'ells es el punt associat al consum de les zones comuns de la comunitat en qüestió.

Primer de tot s'han de conèixer les característiques del punts de consums i els perfils de subministrament que tenen.

3.2.1. CUPS

A la taula 2 es troba la informació real del CUPS de cada punt de subministrament així com uns valors que el defineixen.

CUPS	Potencia contractada(kW)	Categoria	Dades faltant	Identificador
ES0116*****RD0F	5.75	Habitatge	Juny + Octubre	Casa 1
ES0116*****NP0F	5.75	Habitatge	Juny + Octubre	Casa 2
ES0116*****LB0F	5.75	Habitatge	Juny + Octubre	Casa 3
ES01161*****NX0F	5.75	Habitatge	Juny + Octubre	Casa 4
ES011*****RA0F	5.75	Habitatge	Octubre	Casa 5
ES0116*****RF0F	5.75	Habitatge	Octubre	Casa 6
ES01161*****CV0F	5.75	Habitatge	Octubre	Casa 7
ES0116*****LX0F	5.75	Habitatge	Octubre	Casa 8
ES0116*****LY0F	5.75	Habitatge	Octubre	Casa 9
ES0116*****RJ0F	5.75	Habitatge	Juny + Octubre	Casa 10
ES0031*****AE0F	7.6	Comunitat	-	Comú

Taula 2 : CUPS i valors que els caracteritzen. (Font: Elaboració pròpia basada en dades "ab energia".)

A la taula 2 es pot observar les dades dels punts de subministrament, degut a motius de confidencialitat, els CUPS associats a cada punt de consum s'han hagut de codificar per no ser identificables. Així doncs per tenir referència al llarg del treball se'ls hi ha indicat un identificador.

Tenint en compte les potències de les instal·lacions a cobrir amb l'autoconsum, s'hauria d'escollir un voltatge nominal de 48V per fer-ho de la forma més eficient possible. Per altra banda el voltatge nominal escollit per a les dades de la instal·lació de generació es de 24V per ajustar-se a l'objectiu de fer el projecte viable a nivell econòmic.

3.2.2. Consums

Sobre les dades de consum dels habitatges i de les zones comuns, s'adjunta la totalitat de la informació i les dades corresponents a cada CUPS en l'arxiu Excel. Aquestes dades que han estat proporcionades per l'empresa col·laboradora, inclouen el consum de tots els mesos de 2017, les dades s'han recollit de forma horària. Per alguns CUPS degut a un problema amb la lectura horària de la mesura, no s'ha obtingut la totalitat dels valors, en aquests casos, s'ha associat el valor del últim dia del mes anterior més recent.

Es mostra en format de taula el valor mitjà i els valors mitjans màxims i mínims de cada mes dels consums de tots els CUPS. Aquests consums es mostren com a valor mitjà de consum horari (kWh/hora).

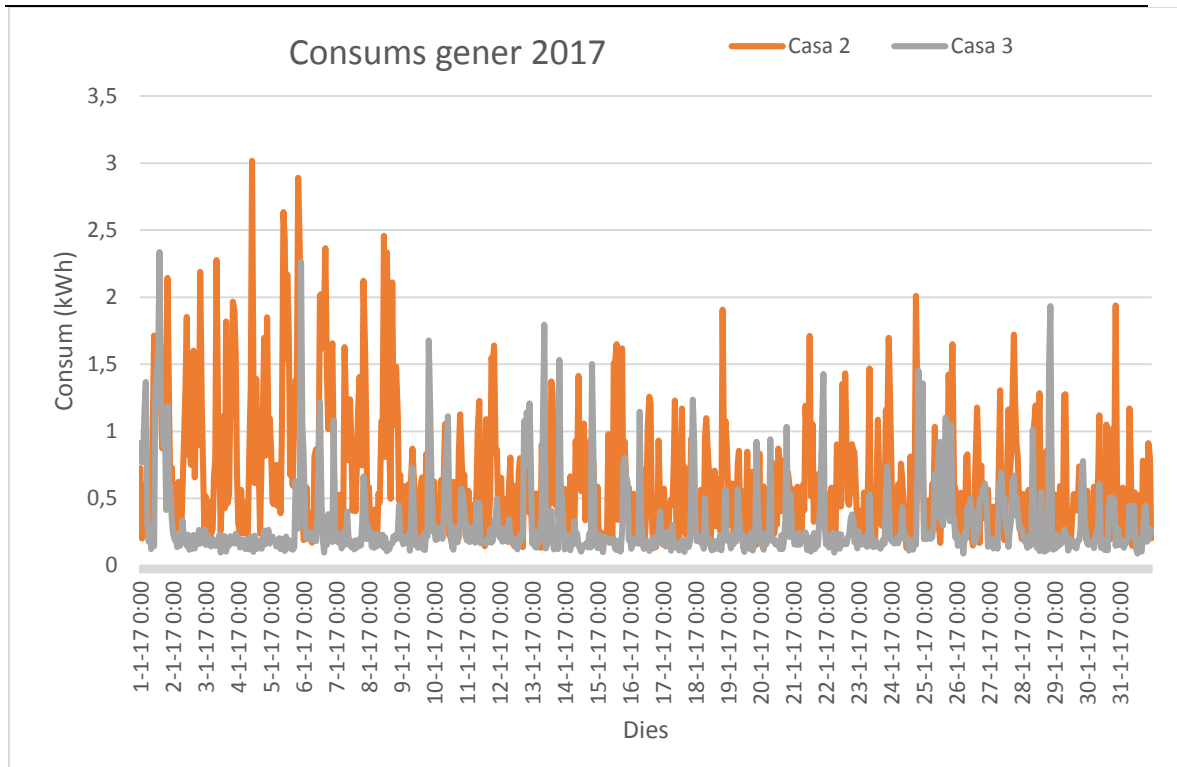
	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 5	Casa 6	Casa 7	Casa 8	Casa 9	Casa 10	Comuns	Max	Min
Gener	0,49	0,64	0,30	0,62	0,48	0,60	0,46	0,56	0,32	0,42	0,94	0,64	0,30
Febrer	0,45	0,52	0,25	0,64	0,39	0,42	0,43	0,46	0,28	0,40	0,95	0,64	0,25
Març	0,44	0,45	0,24	0,54	0,37	0,55	0,35	0,40	0,23	0,37	0,92	0,55	0,23
Abril	0,42	0,38	0,26	0,41	0,35	0,53	0,34	0,37	0,17	0,32	0,84	0,53	0,17
Maig	0,27	0,39	0,25	0,49	0,37	0,59	0,30	0,37	0,24	0,31	0,55	0,59	0,24
Juny	0,27	0,28	0,28	0,49	0,41	0,64	0,29	0,39	0,38	0,27	0,49	0,64	0,27
Juliol	0,26	0,45	0,19	0,66	0,39	0,66	0,27	0,41	0,41	0,22	0,45	0,66	0,19
Agost	0,27	0,39	0,23	0,50	0,43	0,64	0,23	0,46	0,37	0,28	0,43	0,64	0,23
Setembre	0,28	0,38	0,23	0,49	0,40	0,42	0,32	0,45	0,20	0,30	0,45	0,49	0,20
Octubre	0,49	0,20	0,19	0,51	0,31	0,63	0,16	0,43	0,29	0,24	0,48	0,63	0,16
Novembre	0,41	0,48	0,23	0,56	0,40	0,74	0,45	0,42	0,20	0,39	0,89	0,74	0,20
Desembre	0,53	0,49	0,28	0,65	0,49	0,87	0,49	0,50	0,35	0,45	0,91	0,87	0,28
Max	0,53	0,64	0,30	0,66	0,49	0,87	0,49	0,56	0,41	0,45	0,95	0,87	
Min	0,26	0,20	0,19	0,41	0,31	0,42	0,16	0,37	0,17	0,22	0,43	0,16	

Taula 3: Consums mitjans horaris de cada habitatge. (Font: Elaboració pròpia basada en "ab energia")

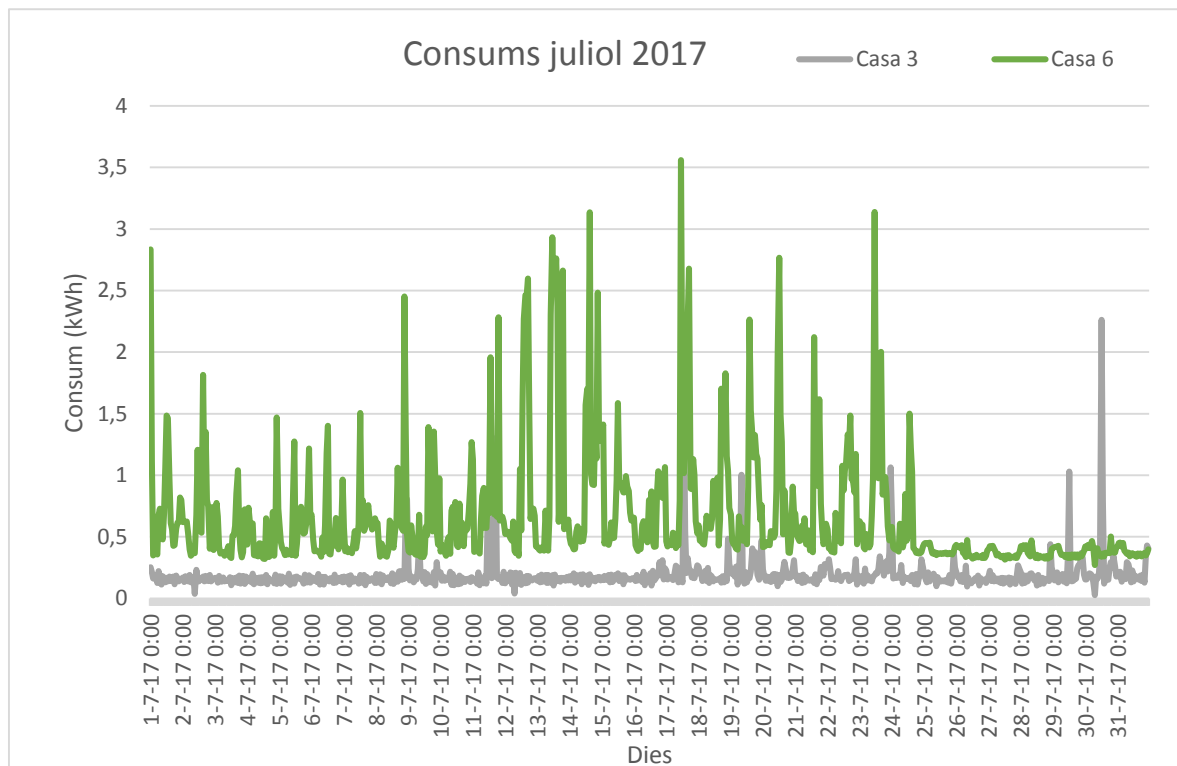
Com s'observa a la taula 3, la casa 6 ha estat la que clarament té un consum superior a la resta la majoria dels mesos, exceptuant 3 casos. Per altra banda, el consum mínim mitja mensualment està molt repartit entre els habitatges però la casa 3 i la casa 9 son les que indiquen tenir un perfil de consum inferior.

També cal destacar que la màxima diferència entre consum el mateix més s'ha trobat entre la casa 6 i la casa 3 el més de Desembre, on el consum mitjà horari de la de la casa 6 ha estat 0,87 kWh/hora i el de la casa 3 de 0,28kWh/hora, així doncs, la diferència horària ha estat de 0,59kWh, el que faria aproximadament una diferència de 14.16kWh/dia.. A més a més, la casa amb consums amb més diferència en mesos diferents ha estat altra vegada l'habitatge 6, amb una diferència entre el més de Desembre i el mes de Febrer de 0,45kWh/hora.

Per tal de veure el comportament mitjà del consum al llarg del diferents mesos, s'han representat els mesos de Gener i Juliol, mesos sense valors crítics en excés. Dins d'aquests mesos s'ha escollit el consum dels habitatges més crítics per veure las diferències màximes dins del mateix més.

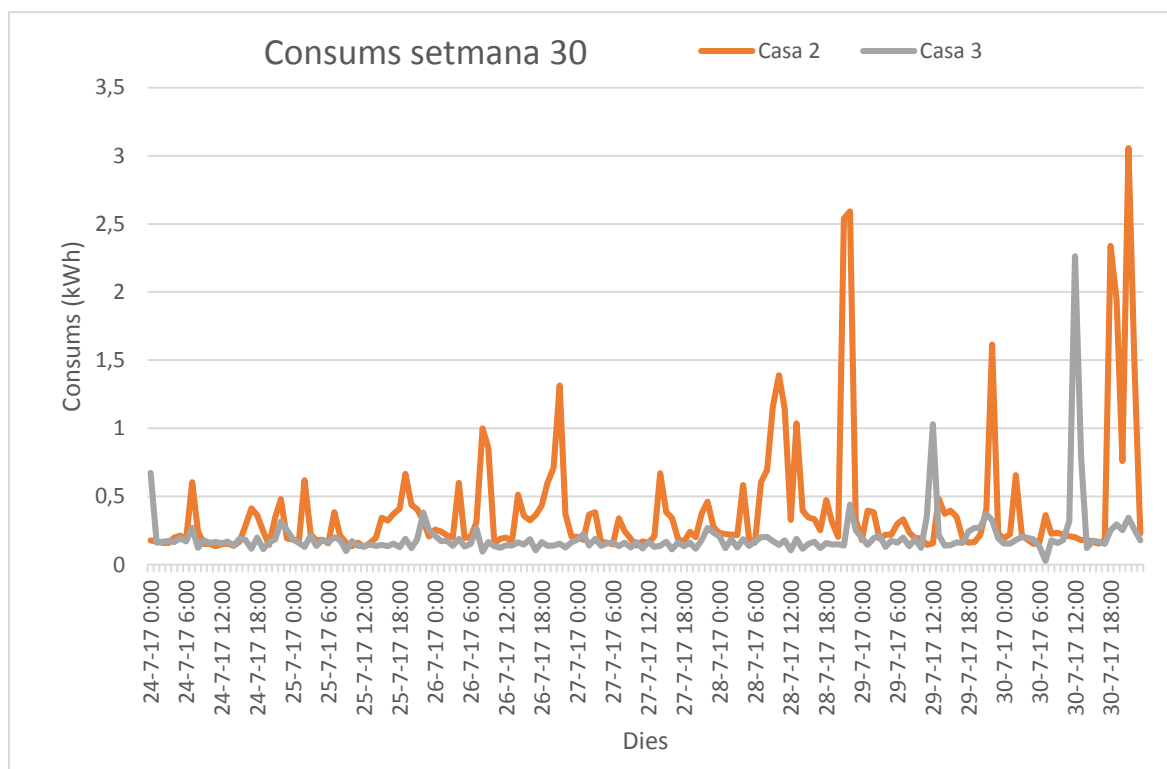


Il·lustració 2: Representació del consums de 2 cases al mes de gener. (Font: Iván Fernández)



Il·lustració 3 : Representació del consums de 2 cases al mes de juliol. (Font: Iván Fernández)

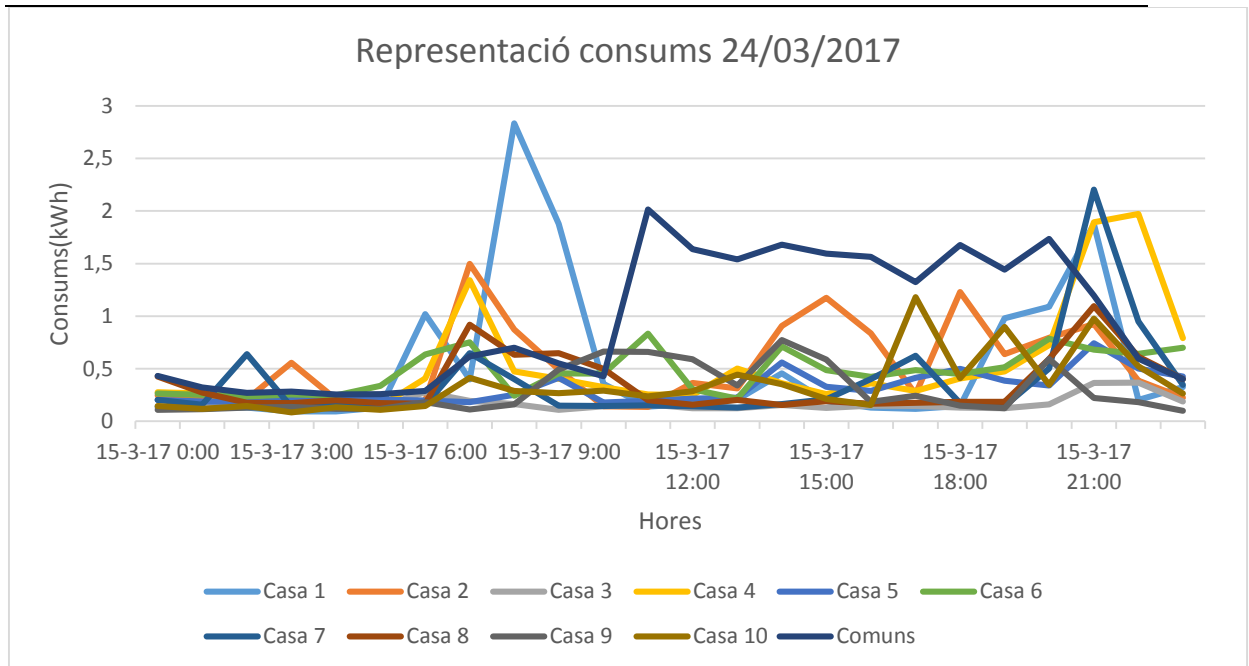
Tal i com es pot veure als dos gràfics, la casa 3 ha estat la de menys consum en els dos mesos degut a que el seu consum sembla ser estacional, un consum romanent durant la setmana i un consum pic els caps de setmana. Per tal d'entendre aquest consums s'inclou la gràfica de la setmana 30 del 2017.



Il·lustració 4: Representació del consums de 2 cases durant la setmana 30. (Font: Iván Fernández)

Com ja s'avançava a veure amb els consums mensuals, la casa 3 té un consum estacional on només consumeix els caps de setmana mentre la casa 2 té un consum durant tota la setmana incloent pics de consum els dies festius.

Ja per últim i per entendre el comportament del consum de una casa tipus en un dia laboral escollida en aquest estudi, es presenta el gràfic del dia 15/03/2017 amb els consums de tots els habitatges i les zones comuns.



Il·lustració 5: Representació del consums per un dia tipus.(Font: Iván Fernández)

Per tant, tot i que no tots els perfils de consum són iguals, es veu una similitud en la majoria d'ells, on es troba un pic de consum a les hores compreses entre les 7:00 i les 9:00 aproximadament i on torna a haver-hi activitat intensa a partir de les 20:00 o 21:00 fins les 23:00. Per altra banda s'observa que el consum del CUPS associat a les zones comuns té un perfil molt diferent, amb consum quasi nul fins les 10:00 i mantingut després durant tot el dia.

3.3. Recurs solar

Amb la finalitat de satisfer les necessitats de consum prèviament explicades, es pretén utilitzar el recurs del Sol com a font d'energia, mitjançant la tecnologia de l'energia solar fotovoltaica. Per poder fer una primera aproximació cal conèixer la incidència del Sol a la zona.

3.3.1. Irradiància

La irradiància es la potència incident per unitat de superfície. En aquest apartat es busca quina es la incidència del Sol a la zona de Barbastro al llarg de tot un any amb la intenció de conèixer quina es la quantitat de HSP (Hores solar pic) per a un dia tipus de cada més.

Per tal de fer l'aprofitament del recurs solar el més gran possible, es tenen en compte els aspectes que:

- La orientació requerida pels panells fotovoltaics per un aprofitament màxim de la irradiància del Sol es orientació sud degut a la zona geogràfica del estudi.

- El model fotovoltaic no contempla el seguiment en dos eixos i per tant és fix en un eix.
- L'angle d'inclinació òptim es veu modificat per la fórmula:

$$\beta = 0.69 * \varnothing + 3.7 = 0.69 * 42.04 + 3.7 = 32.71 \quad (\text{Eq. 1})$$

On: β = Angle d'inclinació òptim en (°).

\varnothing = Latitud de la zona d'estudi en (°).

Les dades que s'han extret i que es mostren per a cada mes del any en format resum són:

Irradiància (kWh/m ²)	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.151	0.274	0.370	0.451	0.476	0.394	0.245	0.036	0.000	0.000
7	0.074	0.258	0.397	0.418	0.484	0.557	0.606	0.543	0.458	0.297	0.102	0.037
8	0.276	0.440	0.520	0.501	0.555	0.624	0.689	0.632	0.572	0.446	0.329	0.252
9	0.371	0.532	0.589	0.552	0.600	0.667	0.741	0.685	0.638	0.525	0.421	0.346
10	0.418	0.580	0.627	0.581	0.627	0.693	0.773	0.717	0.676	0.567	0.467	0.391
11	0.438	0.602	0.644	0.595	0.639	0.705	0.787	0.732	0.693	0.586	0.487	0.409
12	0.438	0.602	0.644	0.595	0.639	0.705	0.787	0.732	0.693	0.586	0.487	0.409
13	0.418	0.580	0.627	0.581	0.627	0.693	0.773	0.717	0.676	0.567	0.467	0.391
14	0.371	0.532	0.589	0.552	0.600	0.667	0.741	0.685	0.638	0.525	0.421	0.346
15	0.276	0.440	0.520	0.501	0.555	0.624	0.689	0.632	0.572	0.446	0.329	0.252
16	0.044	0.218	0.397	0.418	0.484	0.557	0.606	0.543	0.458	0.297	0.102	0.000
17	0.000	0.000	0.119	0.274	0.370	0.451	0.476	0.394	0.211	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
HSP	3.124	4.783	5.823	5.841	6.549	7.394	8.143	7.405	6.529	4.875	3.613	2.833

Taula 4 : Dades d'irradiància en la zona d'estudi. (Font: Elaboració pròpia basada en [4])

Així doncs, les hores on la irradiància directa no és nul·la i per tant hi ha generació d'energia solar fotovoltaica depenen del mes del any i es comprenen entre les 6:00 i les 17:00 hores. També s'aprecia que el mes on la irradiància és superior tan en valor total com en valor mitjà és juliol i el menor respectivament és el Desembre.

A partir d'aquestes dades i com ja es mostra a la última fila de la taula anterior, el càlcul de les HSP es realitza d'acord al factor de conversió següent:

$$1HSP = \frac{1000W}{m^2} = \frac{1kW}{m^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

On: HSP = Hores solar pic.

3.3.2. Superfície disponible

Per a la realització de les simulacions i per tal de donar-li veracitat, s'ha tingut en compte que la superfície d'instal·lació de sistema fotovoltaic no es il·limitada així doncs la superfície disponible que s'ha tingut en compte per a les simulacions s'ha extret de les dades cadastrals dels habitatges. Aquestes dades han estat aportades per l'empresa distribuïdora d'energia de la zona. Tot i ser una comunitat de veïns, no tots els habitatges tenen la mateixa superfície disponible per a realitzar una possible instal·lació. Aquest valors es recullen a la taula 5.

Abreviatura	Superfície construïda(m ²)	Superfície parcel·la(m ²)	Superfície disponible(m ²)
Casa 1	254	212	51
Casa 2	254	190	51
Casa 3	254	180	51
Casa 4	254	240	51
Casa 5	272	259	36
Casa 6	273	192	36
Casa 7	273	196	36
Casa 8	273	197	36
Casa 9	273	194	36
Casa 10	273	259	36
Comuns	-	-	-

Taula 5: Informació sobre les dimensions disponibles. (Font: Elaboració pròpia basada en "ab energia")

Com s'aprecia les cases disposen de una superfície disponible o be de 36 m² o de 51m². Per a les zones comuns no s'ha establert cap superfície disponible ja que la superfície disponible dels habitatges es la que extreta dels cadastres fa referència a la teulada o part més superior de la casa i per tant el CUPS associat a les zones comuns al no disposar d'un espai físic real no té superfície d'instal·lació disponible.

3.3.3. Panell fotovoltaic

Primer de tot per tal de calcular l'energia generada dels mòduls fotovoltaics, cal donar magnitud a les característiques del mòdul fotovoltaic escollit. S'ha fet un petit estudi de mercat per fer la decisió del panell fotovoltaic. Els models i els seus valors comparats han estat els següents.

Model	Potència màxima (W)	Voltatge màxim (V)	Intensitat màxima (A)	Rendiment (%)	Superfície(m ²)	Preu (€)	Relació € (W/m ²)
Panasonic HIT N330	330	58	5.7	19.7	1.67	447.22	88372.81
Ennova PEPV 330W	330	37.89	8.71	17.01	1.94	179.69	30565.82
325W 24V Talesun Policristalino	325	37.4	8.7	16.7	1.94	189.49	31744.46
320W 24V Jinko Policristalino	320	-	-	16.23	1.94	220	36288.66
310W 24V Policristalino Atersa	310	37.14	8.35	15.94	1.95	298.6	47469.74
325W 24V Monocristalino Atersa	325	37.82	8.6	16.71	1.95	293.99	48998.33

Taula 6: Valors de diferents panells del mercat. (Font: Elaboració pròpia basada en [27])

La relació del cost, associat a l'última columna fa referència al càlcul generat a partir de l'equació:

$$\frac{(Preu * P_{mp})}{A} \quad (\text{Eq. 3})$$

On: $Preu$ = Cost de la unitat del panell en qüestió en (€).

P_{mp} = Potència del panell en el punt de màxima potència en (W).

A = Superfície del panell en qüestió en (m²).

D'entre aquests models i com es pot observar, la relació més petita de preu en funció de Watts i m², es el model Ennova PEPV 330W, la fitxa tècnica es troba a l'annex 1. Per tant els valors utilitzats seran els corresponents a les seves característiques tècniques que són:

Ennova PEPV 330W		
Característica	Magnitud	Valor
Potencia nominal punt màxima potencia	(W)	330
Tolerància punt màxima potencia	(%)	3
Intensitat punt màxima potencia	(A)	8.71
Voltatge punt màxima potencia	(V)	37.89
Intensitat de curtcircuit	(A)	9.36
Voltatge circuit obert	(V)	46.58
Àrea	(m ²)	1.94
Eficiència	(%)	17.01

Taula 7: Valors significatius del panell escollit. (Font: Elaboració pròpia basada en [3])



Il·lustració 7 : Panell fotovoltaic escollit. (Font: Ennova Energy[3])

Amb la finalitat de calcular quina es l'energia generada pel sistema de mòduls fotovoltaics a instal·lar, es segueix l'equació següent per tal de determinar quina seria l'energia generada per cada panell.

$$E_{mod} = P_{mp} * \eta_{mod} * HSP \quad (\text{Eq. 3})$$

On: E_{mod} = Energia produïda per un panell fotovoltaic en (Wh).

P_{mp} = Potencia del panell en el punt de màxima potencia en (W).

η_{mod} = Rendiment del panell fotovoltaic.

HSP = Hores solar pic.

3.4. Sistema d'acumulació

Al sistema de generació a partir d'energia solar fotovoltaica s'hi pot afegir un sistema d'acumulació per emmagatzemar suficient energia per tal de cobrir les necessitats energètiques quan la generació no és suficient.

Per tal de saber quina seria la capacitat òptima a acumular, primer s'ha realitzat un petit estudi de mercat per veure quin es el preu d'emmagatzematge per cada kWh.

Les dades i els models que s'han tingut en compte per donar una magnitud al cost d'emmagatzematge son:

Model	Capacitat d'emmagatzematge (kWh)	Profunditat de descarrega(%)	Preu (€)	(€/kWh)
Power 550Ah 24V UP-GC16	13.2	60	1375.94	173.72
ROLLS 24V S480 480Ah C100	11.52	60	1616.37	233.84
TUDOR ENERSOL-T 24V 668Ah Estacionaria 12 Vasos	16.03	60	2285.66	237.64
GEL 24V 788Ah BAE C100	18.91	70	3520.16	265.93
Estacionaria 24V 890Ah Enersol-T	21.36	60	2800.98	218.55
Estacionaria 24V Hoppecke 2232Ah 12 OPzS 1500	53.57	60	7689.61	239.23

Taula 8 : Valors de diferents bateries del mercat. (Font: Elaboració pròpia basada en [27])

A partir d'aquests valors, s'escull el model Power 550Ah 24V UP-GC16 pel valor de cost d'acumulació ja que és el valor més econòmic. Realment aquesta bateria es una bateria formada de bateries de 6V cadascuna així doncs són un total de 4 bateries col·locades en sèrie per tal d'aconseguir els 24V. La fitxa tècnica es troba a l'annex 1.



Il·lustració 8 : Bateria escollida Power UP-GC16. (Font: Autosolar[10])

4. Escenaris d'estudi

Amb tota la informació necessària per tal de poder realitzar els diferents escenaris d'estudi als quals s'ha donat magnitud en els apartats anteriors. Es procedeix a continuació a detallar els escenaris que es pretenen comparar per tal de complir l'objectiu de l'estudi d'abaratir els costos per cobrir les necessitats energètiques mitjançant l'ús de renovables.

4.1. Introducció a les simulacions

Primerament cal donar una explicació a uns conceptes que donen formalitat a la totalitat d'escenaris.

4.1.1. Connexió a xarxa

Els escenaris en totes les simulacions estan connectats a xarxa però l'intercanvi d'energia pot ser unilateral, des de la xarxa fins al consumidor o pot ser una connexió bilateral, l'energia pot arribar des de la xarxa al consumidor per cobrir consums o l'energia pot ser exportada pel consumidor cap a la xarxa a canvi d'una retribució. Així doncs es presenten els dos fenòmens en relació a xarxa que són:

4.1.1.1. Compra d'energia

Tenint en compte el funcionament del mercat de l'energia, s'han tingut en compte les dos possibilitats que ofereixen les comercialitzadores a dia d'avui, les quals són:

- **Preu fix:**
Aquesta modalitat ofereix un preu fix de compra, s'ha considerat que la tarifa dels punts de consum es sense discriminació horària. Per tant, a cada hora de cada dia de l'any el preu de compra de l'energia ha estat exactament el mateix.
Així doncs el preu de compra establert, mitjançant la col·laboració de l'empresa comercialitzadora, s'ha format agafant el valor més econòmic per una tarifa 2.0A que oferien durant el 2017. En aquest cas el preu de compra de l'energia és de 0,119595€/kWh.
- **Tarifa indexada-PVPC (Preu Venta Petit Consumidor):**
Aquesta modalitat ofereix un preu que es veu modificat pel PMD, és a dir, depenent del preu de cassació del mercat diari d'energia, el qual es troba mitjançant l'oferta i demanda entre les generadores i les comercialitzadores d'energia elèctrica, el preu de compra de l'energia pel consumidor final és un o un altre. En aquest cas s'han agafat els valors de PVPC per l'any 2017.

Per a la modalitat d'indexada o PVPC, s'han agafat els valors oficials que es van aplicar durant l'any 2017 per al PVPC els quals estan recollits en el fitxer "Excel Adjunt". Alguns valors a destacar per tal de comparar són els inclosos a la taula següent.

PVPC		
Màxim	0,18254€/kWh	23-10-17 18:00
Mínim	0,06657€/kWh	30-4-17 15:00
Valor mitjà	0,11897€/kWh	Anual

Taula 9 : Valors sobre el PVPC. (Font : Elaboració pròpia basada en [24])

Com es pot observar el valor mitjà es molt semblant inclús es major per la tarifa a preu fix, el que en principi pot indicar que la opció més rentable en cas que es necessites de la compra d'energia estarà utilitzant la modalitat de PVPC.

4.1.1.2. Venda d'energia

Aquesta condició valora la possibilitat que l'energia sobrant es pugui exportar a la xarxa i rebre una retribució per la quantitat d'energia exportada. Per tant a cada simulació es té en compte si es pot exportar o no. Per a totes les simulacions el preu d'exportar energia a xarxa s'ha establert igual a la mitjana del PMD del any 2017, el qual es va establir en 0.052€/kWh.

4.1.1.1. Aspectes a tenir en compte

En el càlcul del cost de les simulacions no s'ha tingut en compte el cost dels elements auxiliars a la font de generació i d'acumulació. Són elements que s'haurien d'incloure en totes les simulacions però no generarien diferència, doncs es un valor aproximadament fix. Aquests costos són els associats al regulador, el convertidor i les proteccions, els quals després sí s'han tingut en compte per al estudi del cas més òptim.

4.2. Tipologies d'escenaris

A partir dels valors de l'objecte d'estudi i dels paràmetres de connexió a xarxa, sorgeixen 3 tipologies d'escenaris.

4.2.1. Escenari original

La primera tipologia d'escenari es l'original, es a dir, cobrir les necessitats energètiques de la totalitat del 2017 mitjançant la compra d'energia a xarxa.

Les condicions d'aquest escenari són les següents:

Tipologia 1			
Definició condicions	Possibilitats	1	2
Generació	No	X	X
	Individual	-	-
	Col·lectiu	-	-
Emmagatzematge	No	X	X
	Individual	-	-
	Col·lectiu	-	-
Compra energia	Preu fix	X	-
	PVPC	-	X
Venta d'energia	No	X	X
	Sí	-	-

Taula 10 : Condicions tipologia 1. (Font: Iván Fernández)

4.2.2. Autoconsum individual

Aquesta tipologia pretén donar solució cobrint les necessitats energètiques de tots els punts de subministrament per mitjà de l'autoconsum individual. Com la resta d'escenaris cerca que la generació de cada habitatge, l'acumulació individual de la mateixa en cas que escaigui e inclús la connexió bilateral a xarxa, permetin cobrir la totalitat de les necessitats energètiques.

Les condicions d'aquest escenari són les següents:

Tipologia 2									
Definició condicions	Possibilitats	1	2	3	4	5	6	7	8
Generació	No	-	-	-	-	-	-	-	-
	Individual	X	X	X	X	X	X	X	X
	Col·lectiu	-	-	-	-	-	-	-	-
Emmagatzematge	No	X	X	X	X	-	-	-	-
	Individual	-	-	-	-	X	X	X	X
	Col·lectiu	-	-	-	-	-	-	-	-
Compra energia	Preu fix	X	X	-	-	X	X	-	-
	PVPC	-	-	X	X	-	-	X	X
Venta d'energia	No	X	-	X	-	X	-	X	-
	Sí	-	X	-	X	-	X	-	X

Taula 11: Condicions tipologia 2. (Font: Iván Fernández)

4.2.3. Autoconsum compartit

Per últim, s'inclou la tipologia d'escenari amb autoconsum compartit, és a dir, hi ha aspectes en la generació o l'acumulació de l'energia que són comuns per a tots els habitatges. Com a les demés simulacions i per tal de buscar la simulació dins d'aquest escenari amb menys cost per tal de cobrir totes les necessitats, s'estudien totes les possibilitats amb la bilateralitat de connexió a xarxa.

Tipologia 3									
Definició condicions	Possibilitats	1	2	3	4	5	6	7	8
Generació	No	-	-	-	-	-	-	-	-
	Individual	-	-	-	-	-	-	-	-
	Col·lectiu	X	X	X	X	X	X	X	X
Emmagatzematge	No	X	X	X	X	-	-	-	-
	Individual	-	-	-	-	-	-	-	-
	Col·lectiu	-	-	-	-	X	X	X	X
Compra energia	Preu fix	X	X	-	-	X	X	-	-
	PVPC	-	-	X	X	-	-	X	X
Venta d'energia	No	X	-	X	-	X	-	X	-
	Sí	-	X	-	X	-	X	-	X

Taula 12: Condicions tipologia3.. (Font: Iván Fernández)

4.3. Simulacions

En aquest apartat es pretén explicar totes les simulacions generades i la codificació de les mateixes. Tenint en compte que molts aspectes d'aquestes simulacions són comuns en elles, i per tal de no fer-ho repetitiu, s'explicarà i es posaran els sets, paràmetres, variables i restriccions d'1 exemple per a cada una de les tipologies.

Primer de tot es dona valor a tots els paràmetres d'entrada que poden estar contemplats a les simulacions.

Paràmetres d'entrada											
Paràmetres	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 5	Casa 6	Casa 7	Casa 8	Casa 9	Casa 10	Total
Consum cases(kWh)	3347	3691	2156	4784	3506	5333	2979	3820	2521	2906	35042
ConsumComu(kWh)	Consum dels CUPS 11 que s'ha de cobrir entre les demés cases.										6042
PreuEnergia(€/kWh)	Valor fix.										0.120
PreuPVPC(€/kWh)	Té valor per a cada hora i dia diferents.										
SuperficieDisponible(m²)	51	51	51	51	36	36	36	36	36	36	420
Irradiació(kWh/m²)	Té valor per a cada hora i dia diferents.										
RendimentFV(%)	Rendiment del panell escollit.										19.7
PreuPanell(€)	Preu del panell escollit.										179.69
SuperficiePanell(m²)	Superfície del panell escollit.										1.94
PotenciaPanell(kW)	Potencia en el punt de màxima potencia del panell escollit.										0.33
VidaPanell(anys)	Vida útil mitjana dels panells.										20
PreuVenta(€/kWh)	Preu de venda de l'energia excedent a la xarxa.										0.052
PreuBateria(€/kWh)	Preu d'una bateria capaç d'emmagatzemar 1kWh										173.73
VidaBateria(anys)	Vida útil mitjana de les bateries.										10

Taula 13 : Valors d'entrada de les simulacions. (Font: Iván Fernández)

Per tal d'explicar les simulacions, s'adjuntaran s'exposen les equacions que es formen per tal de resoldre les simulacions. El codi de les simulacions es troba adjunt a l'Annex 2.

4.3.1. Escenari original

Aquesta simulació és bastant senzilla ja que només es pretén saber els valors del cost de comprar tota l'energia consumida a la xarxa.

4.3.1.1. Variables i codi del software

A continuació es procedeixen a mostrar les equacions que té en compte el software i quina funció realitza cadascuna.

$$ConsumCobert(c, d, h) = Consum(c, d, h) + \frac{ConsumComu(c, d, h)}{10} \quad (\text{Eq. 4})$$

L'equació 4 fa el càlcul pertinent per tal de saber quin és el consum real que ha de cobrir cada habitatge, tenint en compte que les zones comuns són iguals a repartir entre tots, es divideix entre 10. Els valors de consum es troben en kWh.

El cost de compra d'energia a xarxa es veu representat per l'equació 5, aquest valor és per a tot l'any. Aquest resultat és en €.

$$CostCompra = \sum_c (\sum_d (\sum_h (CompraEnergia(c, d, h) * PreuEnergia))) \quad (\text{Eq. 5})$$

L'equació que regula que el balanç d'energia sigui correcte és la equació 6. Es tracta de kWh.

$$ConsumCobert(c, d, h) = (CompraEnergia(c, d, h)) \quad (\text{Eq. 6})$$

Per altra banda, per saber quin és el cost total simplement cal donar valor al CostCompra.

Tenint en compte que el codi és corresponent a la simulació 1.1, l'única variable que es modifica entre 1.1 i 1.2 l'equació 5 que passa a ser l'equació 7. El resultat és en €.

$$CostCompra = \sum_c (\sum_d (\sum_h (CompraEnergia(c, d, h) * PreuPVPC(d, h)))) \quad (\text{Eq. 7})$$

4.3.1.1. Resultats de les variables

Les variables calculades en aquestes dues simulacions són:

Resultats Tipologia 1(1)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
ConsumCobert	3951	4295	2760	5388	4110	5937	3584	4424	3125	3510	41084
Compra d'energia	3951	4295	2760	5388	4110	5937	3584	4424	3125	3510	41084
Cost compra d'energia	473	514	330	644	492	710	429	529	374	420	4913
Cost per casa	472	513	330	644	491.6	710	428	529	373	419	4913
Resultats Tipologia 1(2)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
ConsumCobert	3951	4295	2760	5388	4110	5937	3584	4424	3125	3510	41084
Compra d'energia	3951	4295	2760	5388	4110	5937	3584	4424	3125	3510	41084
Cost compra d'energia	484	522	334	655	497	715	435	534	378	430	4983
Cost per casa	484	522	334	655	497	715	435	534	378	430	4983

Taula 14 : Resultats de les variables calculades en la tipologia 1. (Font: Iván Fernández)

Com es pot observar el fet de cobrir tot el consum dels 11CUPS amb la tipologia 1 te un cost de 4913€ en cas de la modalitat de compra d'energia a preu fix i de 4983€ en la modalitat de compra a preu PVPC.

Degut a que el consum a cobrir es el mateix per a totes les simulacions, no es tornarà a mostrar la variable que calcula el consum real que ha de cobrir cada habitatge.

Així doncs i encara que la mitjana del preu a indexat es menor que la mitjana del preu fix tal i com s'ha comentat en els apartats anteriors. El preu òptim de compra es un preu el qual no depèn directament de la cassació del mercat dia a dia.

Aquest fet es degut a que el preu de cassació del mercat depèn de la oferta i la demanda de cada hora del dia per a tots els dies del any, així doncs en moments de més demanda el preu de cassació es major a igual generació.

Amb aquesta relació podem establir la sentència de que els consums dels punts de subministrament objectes d'estudi, segueixen un perfil de consum semblant al perfil de consum de la població de la península.

Per tot això, de moment la millor forma de cobrir la totalitat del consum es amb la compra d'energia a preu fix.

4.3.2. Autoconsum individual

En aquestes simulacions es contempla la generació en cada casa i l'acumulació o no, en cada habitatge. Així doncs, ens donarà una visió de si la generació d'energia pot cobrir el consum complet

i es una forma eficient, o si es millor limitar la generació o inclús si es més òptim comprar tota l'energia directament.

Aquestes simulacions es diferenciaren entre les que contempen emmagatzematge i les que no ho fan.

4.3.2.1. Variables i codi del software sense emmagatzematge

El codi següent es el corresponent a la simulació 2.1.

A continuació es procedeixen a mostrar les equacions que té en compte el software i quina funció realitza cadascuna.

$$ConsumCobert(c, d, h) = Consum(c, d, h) + \frac{ConsumComu(c, d, h)}{10} \quad (\text{Eq. 8})$$

L'equació 8 fa el càlcul pertinent per tal de saber quin es el consum real que ha de cobrir cada habitatge, tenint en compte que les zones comuns son iguals a repartir entre tots, es divideix entre 10. Els valors de consum es troben en kWh.

El cost de compra d'energia a xarxa es veu representat per l'equació 5, aquest valor es per a tot l'any.

$$CostCompra = \sum_c (\sum_d (\sum_h (CompraEnergia(c, d, h) * PreuEnergia))) \quad (\text{Eq. 9})$$

En aquesta simulació i degut a que ja hi ha sistema de generació, cal limitar la superfície màxima a instal·lar a cada casa. Aquesta superfície es mostra en m2 i ve definida per:

$$SuperficieInstalada(c) \leq Superficie disponible (c) \quad (\text{Eq. 10})$$

Per a donar valor a la quantitat d'energia generada es fa servir l'equació 11. L'energia generada es mostra en kWh.

$$EnergiaGenerada(c, d, h) \leq Irradiació(d, h) * RendimentFV * \left(\frac{PotenciaPanell}{SuperficiePanell} \right) * SuperficieInstalada (c) \quad (\text{Eq. 11})$$

Aquesta equació dona el valor real d'energia generada per a cada casa dia i hora segons la superfície instal·lada optima que ha generat el software.

Així doncs, per saber quin es el cost en € de la superfície instal·lada i per tant de generar energia:

$$\Sigma_c(SuperficieInstalada(c)) * \left(\frac{PreuPanell}{SuperficiePanell}\right) * \left(\frac{1}{VidaPanell}\right) = CostFV \quad (\text{Eq. 12})$$

L'equació que regula que el balanç d'energia sigui correcte es la equació 13. Es tracta de kWh.

$$ComsumCobert(c, d, h) = (CompraEnergia(c, d, h)) + EnergiaGenerada(c, d, h) \quad (\text{Eq. 13})$$

Ja per últim i simplement per tenir quin es el cost total que es l'objecte a minimitzar pel programa, es té:

$$CostTotal = (CostCompra + CostFV) \quad (\text{Eq. 14})$$

Aquest es el codi per a la simulació 2.1 la qual té generació individual, no contempla emmagatzematge d'energia, no té opció d'exportar a xarxa i la compra d'energia es a preu fix.

Per altra banda per a les simulacions 2.2 i 2.4, les quals tenen en consideració la possibilitat d'exportar l'excedent d'energia a la xarxa, s'ha d'afegir l'equació 15 que es el càlcul que generaria l'exportació de l'energia a la xarxa en €.

$$BeneficiVenta = \Sigma_c(\Sigma_d(\Sigma_h(VentaEnergia(c, d, h) * PreuVenta))) \quad (\text{Eq. 15})$$

I també s'han de modificar el balanç d'energia i el cost total de tal forma que:

$$ComsumCobert(c, d, h) = (CompraEnergia(c, d, h)) + EnergiaGenerada(c, d, h) - VentaEnergia(c, d, h) \quad (\text{Eq. 16})$$

$$CostTotal = (CostCompra + CostFV - BeneficiVenta) \quad (\text{Eq. 17})$$

L'única equació que es modifica entre la 2.1 i la 2.3 i entre la 2.2 i la 2.4 al igual que en la tipologia d'escenaris anteriors es l'equació 9 que passa a ser l'equació 18.

$$CostCompra = \Sigma_c(\Sigma_d(\Sigma_h(CompraEnergia(c, d, h) * PreuPVPC(d, h)))) \quad (\text{Eq. 18})$$

4.3.2.1. Resultats de les variables

Les variables calculades en aquestes simulacions són:

Resultats Tipologia 2(1)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Compra d'energia	3066	3290	2019	4001	2912	4156	2766	3327	2206	2756	30498
Superfície Instal·lada	15	17	12	23	19	30	13	18	15	13	176
Energia generada	886	1005	741	1387	1198	1781	818	1096	919	754	10585
Cost compra d'energia	367	393	241	479	348	497	331	398	264	330	3647
Cost generació energia	71	80	56	106	89	139	62	83	72	58	816
Cost per casa	438	473	297	585	438	636	392	481	336	388	4464
Resultats Tipologia 2(2)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Compra d'energia	2527	2769	1838	3545	2617	3951	2468	2907	1753	2445	26820
Superfície Instal·lada	37	39	19	41	31	36	26	35	33	25	321
Energia generada	2498	2634	1302	2806	2109	2457	1743	2400	2278	1687	21914
Energia venuda	1073	1109	380	963	616	470	628	883	907	623	7650
Cost compra d'energia	302	331	220	424	313	472	295	348	210	292	3208
Cost generació d'energia	169	179	88	190	143	167	118	163	155	115	1487
Benefici venda d'energia	56	58	20	50	32	24	33	46	47	32	398
Cost per casa	416	452	288	564	424	615	381	465	317	375	4297
Resultats Tipologia 2(3)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Compra d'energia	3074	3303	2020	4003	2915	4167	2770	3334	2206	2759	30552
Superfície Instal·lada	15	17	12	23	19	30	13	18	15	12	175
Energia generada	877	992	740	1385	1195	1770	813	1090	919	751	10532
Cost compra d'energia	381	406	247	493	357	508	340	407	270	342	3749
Cost generació energia	70	78	55	106	89	138	61	83	72	58	810
Cost per casa	451	484	302	599	446	646	401	489	342	399	4558
Resultats Tipologia 2(4)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Compra d'energia	2504	2756	1831	3539	2609	3951	2462	2918	1745	2444	26757
Superfície Instal·lada	38	39	20	42	3	36	26	34	34	25	297
Energia generada	2595	2693	1335	2834	2143	2457	1768	2353	2315	1693	22186
Energia venuda	1147	1154	406	984	642	470	647	847	935	627	7860
Cost compra d'energia	312	340	224	437	320	482	303	357	214	304	3294
Cost generació d'energia	176.1	182.8	91	192.3	145.5	166.7	120	159.7	157.1	114.9	1506
Benefici venda d'energia	60	60	21	51	33	24	34	44	49	33	409
Cost per casa	429	463	294	578	432	624	389	473	323	386	4391

Taula 15: Resultats de les variables calculades en la tipologia 2 sense acumulació. (Font: Iván Fernández)

A partir d'aquest resultats i tenint en compte que totes les simulacions que consideren la compra de l'energia amb la modalitat PVPC tenen un cost total més elevat que les que no ho fan i que les simulacions que contempnen la venda del excedent a xarxa en cas que sigui rentable en comparació amb les que no ho fan, també són més econòmiques.

Les simulacions futures tant per autoconsum individual amb emmagatzematge com totes les generades amb autoconsum compartit, només es faran amb venda a xarxa i a compra de preu fix, per tal de no fer el treball redundant.

Per tant les simulacions realment realitzades de la tipologia 2 són:

Tipologia 2						
Definició condicions	Possibilitats	1	2	3	4	6
Generació	No	-	-	-	-	-
	Individual	X	X	X	X	X
	Col·lectiu	-	-	-	-	-
Emmagatzematge	No	X	X	X	X	-
	Individual	-	-	-	-	X
	Col·lectiu	-	-	-	-	-
Compra energia	Preu fix	X	X	-	-	X
	PVPC	-	-	X	X	-
Venda d'energia	No	X	-	X	-	-
	Sí	-	X	-	X	X

Taula 16 : Condicions de les simulacions realitzades de la tipologia 2. (Font: Iván Fernández)

4.3.2.1. Variables i codi del software amb emmagatzematge

El codi de la simulació 2.6 és exactament el mateix codi de la simulació 2.2, és a dir amb compra d'energia a preu fix i amb exportació d'energia a la xarxa però s'afegeixen els paràmetres, variables i restriccions següents. Que queden definits amb les equacions següents.

L'equació 19 que regula que la bateria instal·lada ha de ser superior a la màxima energia acumulada en cada moment per cada casa. Els valors són en kWh.

$$BateriaInstalada(c) \Rightarrow EnergiaAcumulada(c, d, h) \quad (\text{Eq. 19})$$

També cal iniciar la bateria amb acumulació de 0, mitjançant:

$$EnergiaAcumulada(c, d, h | ord(d) = 1 \text{ and } ord(h) = 1) = 0 \quad (\text{Eq. 20})$$

Per últim també s'afegeix el cost d'acumular que defineix l'equació 21.

$$\Sigma_c(BateriaInstalada(c)) * PreuBateria * \frac{1}{VidaBateria} = CostAcumular \quad (\text{Eq. 21})$$

També s'han hagut de modificar el balanç d'energia per tal de considerar l'acumulació i el cost total de tal forma que pel balanç d'energia es defineix que per la primera hora del dia l'energia acumulada anterior havia de ser la del últim del dia anterior i que per les demes hores l'anterior acumulada simplement havia de ser l'anterior per tant queden les 2 equacions 22 i 23.

$$\begin{aligned} &EnergiaAcumulada(c, d, h) + CompraEnergia(c, d, h) + \\ &GeneracioEnergia(c, d, h) = ConsumCobert(c, d, h) + VentaEnergia(c, d, h) + \\ &EnergiaAcumulada(c, d + 1, h - 23) \end{aligned} \quad (\text{Eq. 22})$$

$$\begin{aligned} &EnergiaAcumulada(c, d, h) + CompraEnergia(c, d, h) + \\ &GeneracioEnergia(c, d, h) = ConsumCobert(c, d, h) + VentaEnergia(c, d, h) + \\ &EnergiaAcumulada(c, d, h + 1) \end{aligned} \quad (\text{Eq. 23})$$

Ja per últim s'hauria de modificar l'equació referent al cost total tal que:

$$CostTotal = (CostCompra + CostFV - BeneficiVenta + CostAcumular) \quad (\text{Eq. 24})$$

4.3.2.1. Resultats de les variables

Les variables calculades en aquesta simulació són:

Resultats Tipologia 2(6)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Compra d'energia	1743	1846	1177	2715	2151	3801	1814	2324	1213	1734	20518
Superfície Instal·lada	47	51	30	51	36	36	36	36	36	35	394
Energia generada	3185	3480	2071	3480	2457	2457	2457	2457	2457	2397	26897
Energia venuda	977	1032	488	807	497	321	687	357	545	621	6332
Bateria instal·lada	1.91	2.35	1.71	2.08	1.23	0.39	1.63	1.74	1.33	1.77	16
Total d'energia emmagatzemada	7444	9534	7185	8671	5275	1714	6926	7239	5517	7100	66605
Cost compra d'energia	209	221	141	325	257	455	217	278	145	207	2454
Cost generació d'energia	216	236	141	236	167	167	167	167	167	163	1825
Benefici venda d'energia	51	54	25	42	26	17	36	19	28	32	329
Cost sistema acumulació	33	41	30	36	21	7	28	30	23	31	281
Cost per casa	407	444	286	555	419	611	376	456	307	369	4231

Taula 17: Resultats de les variables calculades en la tipologia 2 amb acumulació. (Font: Iván Fernández)

A partir d'aquí i com es pot observar, el fet d'acumular energia arriba a produir beneficis respecte al no fer-ho degut a que optimitza l'aprofitament de la generació d'energia. La superfície instal·lada per a la generació d'energia respecte les demés simulacions fetes fins a aquest punt, s'ha vist ampliada i inclús en alguns dels habitatges la solució optima es la instal·lació de tota la superfície disponible.

Per altra banda es pot observar que la compra d'energia de la xarxa s'ha vist disminuïda fins i tot per sota del valor de generació. És produeix més energia a partir dels panells solars que de la comprada a xarxa.

Amb aquests resultats, per a la tipologia 3, es deixen de tenir en compte les simulacions sense emmagatzematge degut a que no complirien amb l'objectiu de reduir el cost total per tant per l'autoconsum compartit, la millor simulació que es pot generar es troba caracteritzada a la taula a continuació.

Tipologia 3		
Definició condicions	Possibilitats	6
Generació	No	-
	Individual	-
	Col·lectiu	X
Emmagatzematge	No	-
	Individual	-
	Col·lectiu	X
Compra energia	Preu fix	X
	PVPC	-
Venta d'energia	No	-
	Sí	X

Taula 18: Condicions de les simulacions realitzades de la tipologia 3. (Font: Iván Fernández)

4.3.3. Escenari d'autoconsum compartit

Aquesta simulació en principi es la que ha d'aconseguir el preu més competitiu per tal de cobrir totes les necessitats energètiques de l'any sencer. Ja que la generació serà creada per compartir entre tots, el sistema d'emmagatzematge serà un únic per a tots, els consums es consideren com a un únic a cobrir.

4.3.3.1. Variables i codi del software

En aquest simulació les equacions que la defineixen es veuran a continuació.

$$ConsumCobert(c, d, h) = Consum(c, d, h) + \frac{ConsumComu(c, d, h)}{10} \quad (\text{Eq. 25})$$

L'equació 25 fa el càlcul pertinent per tal de saber quin es el consum real que ha de cobrir cada habitatge, tenint en compte que les zones comuns son iguals a repartir entre tots, es divideix entre 10. Els valors de consum es troben en kWh.

El cost de compra d'energia a xarxa es veu representat per l'equació 26, aquest valor es per a tot l'any.

$$CostCompra = \sum_d(\sum_h(CompraEnergia(d, h) * PreuEnergia)) \quad (\text{Eq. 26})$$

Tenint en compte que es una simulació per autoconsum compartit, la superfície disponible s'ha de totalitzar per tal:

$$SuperficieTotal = \sum_c(Superficie disponible (c)) \quad (\text{Eq. 27})$$

En aquesta simulació i degut a que ja hi ha sistema de generació, cal limitar la superfície màxima a instal·lar a cada casa. Aquesta superfície es mostra en m2 i ve definida per:

$$SuperficieInstalada \leq SuperficieTotal \quad (\text{Eq. 28})$$

Per a donar valor a la quantitat d'energia generada es fa servir l'equació 29 que ses igual que a les simulacions anteriors. L'energia generada es mostra en kWh.

$$EnergiaGenerada(d, h) \leq Irradiació(d, h) * RendimentFV * \left(\frac{PotenciaPanell}{SuperficiePanell} \right) * SuperficieInstalada (c) \quad (\text{Eq. 29})$$

Aquesta equació dona el valor real d'energia generada per a cada dia i hora segons la superfície instal·lada optima que ha generat el software.

Així doncs, per saber quin es el cost en € de la superfície instal·lada i per tant de generar energia:

$$(SuperficieInstalada) * \left(\frac{PreuPanell}{SuperficiePanell} \right) * \left(\frac{1}{VidaPanell} \right) = CostFV \quad (\text{Eq. 30})$$

Al igual que en les demes simulacions anteriors, es pot exportar energia a la xarxa i per tant hi ha benefici de venda que es calcula tal que:

$$BeneficiVenda = (\sum_d(\sum_h(VentaEnergia(d, h) * PreuVenda)) \quad (\text{Eq. 31})$$

Per al conjunt de sistema d'acumulació tenim les equacions 32,33 i 34. Aquestes equacions limiten que la bateria sigui suficientment gran, que l'energia inicial sigui 0 i el cost d'acumular respectivament.

$$BateriaInstalada \Rightarrow EnergiaAcumulada(d, h) \quad (\text{Eq. 32})$$

$$EnergiaAcumulada(d, h | ord(d) = 1 \text{ and } ord(h) = 1) = 0 \quad (\text{Eq. 33})$$

$$(BateriaInstalada) * PreuBateria * \frac{1}{VidaBateria} = CostAcumular \quad (\text{Eq. 34})$$

Per acabar respecte al balanç d'energia i el cost total, les equacions 35 i 36 regulen el balanç igual que abans i la 37 dona el valor del cost.

$$EnergiaAcumulada(d, h) + CompraEnergia(d, h) + GeneracioEnergia(d, h) = ConsumCobert(d, h) + VentaEnergia(d, h) + EnergiaAcumulada(d + 1, h - 23) \quad (\text{Eq. 35})$$

$$EnergiaAcumulada(d, h) + CompraEnergia(d, h) + GeneracioEnergia(d, h) = ConsumCobert(d, h) + VentaEnergia(d, h) + EnergiaAcumulada(d, h + 1) \quad (\text{Eq. 36})$$

Ja per últim queda l'equació del cost total tal que:

$$CostTotal = (CostCompra + CostFV - BeneficiVenta + CostAcumular) \quad (\text{Eq. 37})$$

4.3.3.1. Resultats de les variables

En aquesta tipologia, els costos són totals, així doncs es mostraran els resultats de costos de dues formes, la primera, la qual es la repartició de costos de forma igual, és a dir, als ser un sistema de generació i d'acumulació únic, del qual es poden aprofitar totes les cases, els costos es lògic que es podrien arribar a repartir de forma igual.

Per altra banda i degut a que no tots els consums d'estudi són iguals, es farà una segona taula, on els costos estaran dividits tenint en compte el percentatge de consum de cada habitatge respecte del total.

Els valors en qüestió són:

Resultats Tipologia 3(6)											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Compra d'energia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20285
Superfície Instal·lada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	385
Energia generada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26269
Energia venuda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5470
Bateria instal·lada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
Total d'energia emmagatzemada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53019
Resultats Tipologia 3(6)-Sense repartició per consums											
Cost compra d'energia	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	2426
Cost generació d'energia	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	1783
Benefici venda d'energia	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	284
Cost sistema acumulació	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	216
Cost per casa	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414	4140
Resultats Tipologia 3(6)-Amb repartició per consums											
Percentatge de consum	10%	10%	7%	13%	10%	14%	9%	11%	8%	9%	100%
Cost compra d'energia	233	254	163	318	243	351	212	261	185	207	2426
Cost generació d'energia	171	186	120	234	178	258	156	192	136	152	1783
Benefici venda d'energia	27	30	19	37	28	41	25	31	22	24	284
Cost sistema acumulació	21	23	15	28	22	31	19	23	16	18	216
Cost per casa	398	433	278	543	414	598	361	446	315	354	4140

Taula 19: Resultats de les variables calculades en la tipologia 3. (Font: Iván Fernández)

4.4. Conclusions

A partir d'aquests punt i amb totes les simulacions realitzades, es procedeix a comparar els valors resultants de cada simulació. Es fa una comparació entre les simulacions que tenen les mateixes condicions que la idònia, es a dir, estan connectats a xarxa i el preu de compra de l'energia es a preu fix. Les simulacions doncs les quals es mostren valors a continuació són la 1.1, 2.2, 2.6 i 3.6 ja que s'inclou l'estat actual.

RESULTATS											
Dades comuns											
Cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Consum Cobert	3951	4295	2760	5388	4110	5937	3584	4424	3125	3510	41084
Percentatge de consum	10%	10%	7%	13%	10%	14%	9%	11%	8%	9%	100%
Compra d'energia											
Simulació 1.1	3951	4295	2760	5388	4110	5937	3584	4424	3125	3510	41084
Simulació 2.2	2527	2769	1838	3545	2617	3951	2468	2907	1753	2445	26820
Simulació 2.6	1743	1846	1177	2715	2151	3801	1814	2324	1213	1734	20518
Simulació 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20285
Superfície Instal·lada											
Simulació 2.2	15	17	12	23	19	30	13	18	15	13	176
Simulació 2.6	47	51	30	51	36	36	36	36	36	35	394
Simulació 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	385
Energia generada											
Simulació 2.2	2498	2634	1302	2806	2109	2457	1743	2400	2278	1687	21914
Simulació 2.6	3185	3480	2071	3480	2457	2457	2457	2457	2457	2397	26897
Simulació 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26269
Energia venuda											
Simulació 2.2	1073	1109	380	963	616	470	628	883	907	623	7650
Simulació 2.6	977	1032	488	807	497	321	687	357	545	621	6332
Simulació 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5470
Bateria instal·lada											
Simulació 2.6	1.91	2.35	1.71	2.08	1.23	0.39	1.63	1.74	1.33	1.77	16
Simulació 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
Total d'energia emmagatzemada											
Simulació 2.6	7444	9534	7185	8671	5275	1714	6926	7239	5517	7100	66605
Simulació 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53019
Cost compra d'energia											
Simulació 1.1	473	514	330	644	492	710	429	529	374	420	4913
Simulació 2.2	302	331	220	424	313	472	295	348	210	292	3208
Simulació 2.6	209	221	141	325	257	455	217	278	145	207	2454
Simulació 3.6 (iguals)	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	2426
Simulació 3.6 (consums)	233	253	163	318	242	350	211	261	184	207	2426
Cost generació energia											
Simulació 2.2	169	179	88	190	143	167	118	163	155	115	1487
Simulació 2.6	216	236	141	236	167	167	167	167	167	163	2454
Simulació 3.6 (iguals)	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	1783
Simulació 3.6 (consums)	171	186	119	233	178	257	155	192	135	152	1783
Benefici venda d'energia											
Simulació 2.2	56	58	20	50	32	24	33	46	47	32	398
Simulació 2.6	51	54	25	42	26	17	36	19	28	32	329

Simulació 3.6 (iguals)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	284
Simulació 3.6 (consums)	27.32	29.69	19.08	37.25	28.41	41.04	24.77	30.58	21.6	24.26	284
Cost sistema acumulació											
Simulació 2.6	33	41	30	36	21	7	28	30	23	31	281
Simulació 3.6 (iguals)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	216
Simulació 3.6 (consums)	21	23	15	28	22	31	19	23	16	18	216
Cost per casa											
Simulació 1.1	473	514	330	644	492	710	429	529	374	420	4913
Simulació 2.2	416	452	288	564	424	615	381	465	317	375	4297
Simulació 2.6	407	444	286	555	419	611	376	456	307	369	4231
Simulació 3.6 (iguals)	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414	4140
Simulació 3.6 (consums)	398	432	278	543	414	598	361	445	314	353	4140

Taula 20 : Resultats de totes les simulacions per variable. (Font: Iván Fernández)

4.4.1. Superfície de generació i d'acumulació

Segons superfície de generació i d'acumulació, s'aprecia que entre la simulació 2 i la simulació 6 s'amplia clarament la zona de generació degut a que al tenir emmagatzematge, surt rentable generar més per tal de cobrir el consum gràcies a l'acumulació. Per altra banda però, es curiós com la superfície a instal·lar de generació és inferior en la simulació d'autoconsum compartit.

Sobre la superfície d'acumulació també es pot apreciar que el punt òptim per a l'autoconsum compartit és inferior una altra vegada respecte l'autoconsum individual.

Tot i així cal dir que el fet de tenir un sistema d'emmagatzematge únic i un sistema de generació únic i no tenir-ne 10 per separat, al tenir algun possible problema en el sistema, el sistema es veu paralitzat en la seva totalitat.

Com a conclusió es pot indicar que l'autoconsum compartit requereix de menys instal·lació i menys espai físic ja que la possibilitat de repartir tota la generació i tota l'acumulació entre les zones de consum sense restriccions individuals, facilita la seva rendibilitat.

4.4.2. Flux d'energia

Sobre l'origen de l'energia, en les simulacions es contemplen 2 orígens, la compra i la generació, per altra banda el destí de l'energia pot ser 3 en cada moment, l'acumulació, la venda o el consum. Tots els escenaris contemplen cobrir la mateixa quantitat d'energia com a consum.

Com s'observa als resultats, l'energia comprada en cada simulació és diferent, òbviament en la primera es compra tota l'energia de xarxa que és la situació actual dels habitatges, a la 2.2 inclou la generació i la venda del possible excedent. En canvi a la 2.6 i la 3.6, gràcies al sistema d'acumulació, la compra d'energia es veu encara més reduïda.

La simulació que més energia generada hi ha a partir de renovables és la 2.6, però també té una quantitat d'energia venuda més gran. La diferencia bàsica entre la simulació 2.6 d'autoconsum individual i la 3.6 d'autoconsum compartit, és que el fet de poder jugar amb quantitats d'energia més gran en el moment de l'acumulació, fa que la compra d'energia a la xarxa sigui completament eficient i els excedents d'energia generada i que per tant s'han de vendre a xarxa, siguin inferiors.

Com a conclusió sobre aquest aspecte es podria establir que encara que l'origen d'energia renovable en l'autoconsum compartit és inferior a l'autoconsum individual, l'energia que s'ha de comprar a xarxa per tal de poder cobrir la totalitat del consum és inferior. Aquest fet fa que realment a nivell de sostenibilitat sigui més eficient l'autoconsum compartit ja que la majoria de l'energia comprada a xarxa no prové de fonts renovables.

4.4.3. Costos

En aquest apartat, es valoraran els costos de les diferents simulacions per a la generació d'energia. Primer de tot cal aclarir que el cost que suposa a dia d'avui cobrir totes les necessitats energètiques és el cost associat a la simulació 1, on el valor final es 4913 €, així doncs, cobrir tot el consum mitjançant la compra a xarxa sortiria per 4913€ en cas que el consum i el preu de compra es mantinguessin sempre.

Per altra banda tenim els valor que costaria cobrir tot el consum mitjançant autoconsum individual, aquest resultat pot ser tenint en compte l'acumulació o no, i el fet es que amb un sistema d'emmagatzematge òptim sortiria per 4231€. Així doncs el fet de que cada habitatge tingués el seu propi sistema de generació fotovoltaica i el seu respectiu sistema d'emmagatzematge, disminuiria el cost de cobrir les necessitats energètiques en 682€ anuals.

També, el fet de cobrir amb autoconsum compartit redueix el cost anual a 4140€, així doncs són 91€ de marge anual respecte l'autoconsum individual. Aquest valor suposa un estalvi econòmic anual de 773€. Aquest valor representa un estalvi del 15.73% sobre el preu de comprar totalment a xarxa.

Per altra banda es molt curiós veure la repartició del cost entre la generació, l'acumulació, la venda o el benefici que atorga la venda a xarxa. A la següent taula es mostren els percentatges que conformen cada simulació.

Representació % de costos				
Simulacions	1.1	2.2	2.6	3.6
Cost compra d'energia	100%	75%	58%	59%
Cost generació energia	0%	35%	43%	43%
Benefici venda d'energia	0%	-9%	-8%	-7%
Cost sistema acumulació	0%	0%	7%	5%
Total	100%	100%	100%	100%

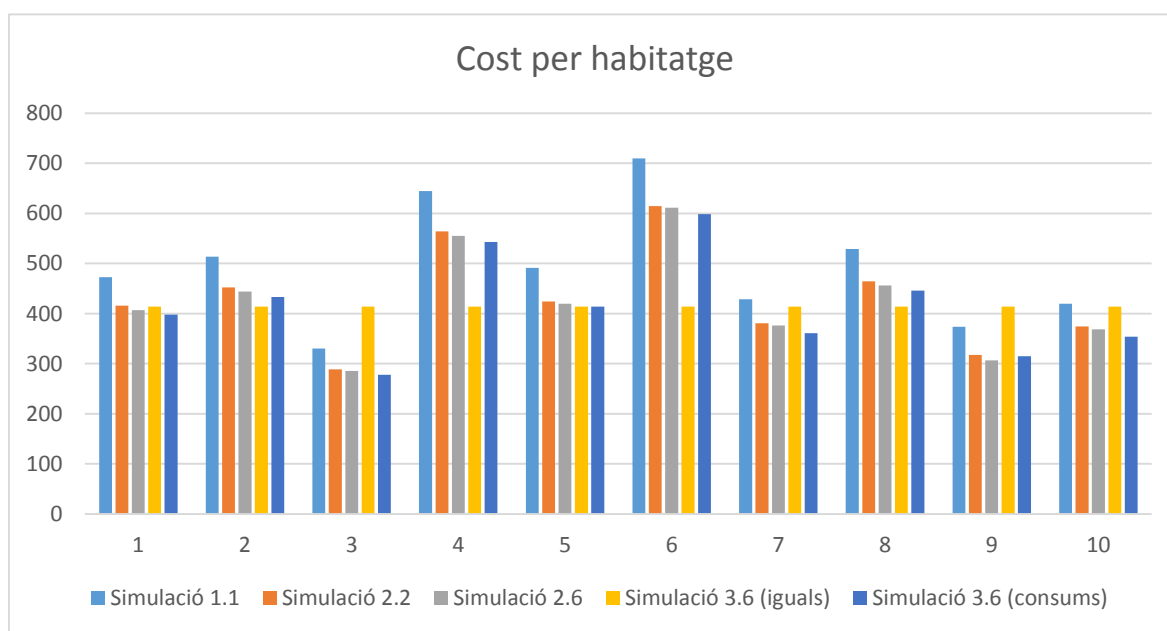
Taula 21: Dades dels costos en percentatges. (Font: Iván Fernández)

Com es pot veure, percentualment els valors entre la 2.6 i la 3.6 són molt similars, però s'observa com la venda d'energia en el compartit és inferior i que el fet de poder tenir un sistema d'acumulació comú per a totes disminueix els seus costos ja que amb una quantitat d'acumulació inferior, es poden generar fluxos més diferents.

A nivell individual i per veure els costos que suposen a cada casa, es mostra reflectit el cost de cada simulació per habitatge.

Cost per casa											
Simulació 1.1	473	514	330	644	492	710	429	529	374	420	4913
Simulació 2.2	416	452	288	564	424	615	381	465	317	375	4297
Simulació 2.6	407	444	286	555	419	611	376	456	307	369	4231
Simulació 3.6 (iguals)	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414	4140
Simulació 3.6 (consums)	398	432	278	543	414	598	361	445	314	353	4140

Taula 22: Valors de cost per habitatge. (Font: Iván Fernández)



Il·lustració 9 : Representació gràfica del cost per casa. (Font: Iván Fernández)

Amb els valors en qüestió, es pot veure com el cost per habitatge va sent inferior simulació a simulació però es pot apreciar alguna discordança.

Per a la majoria dels habitatges els hi sortiria millor fer un sistema d'autoconsum compartit, exceptuant la casa 9. La casa 9, tindria un benefici individual més gran en el cas de crear el sistema per autoconsum individual en comparació amb el autoconsum compartit. Aquest fet és degut a que el perfil de consum del habitatge 9, és molt diferent al de la resta, el seu consum és inferior a la

majoria de les altres cases i el consum si l'analitzéssim de forma individual apreciaríem que els moments punta els té en el mateix moment que la generació és màxima.

L'habitatge 9 en el cas de l'autoconsum individual, el sistema d'acumulació que és òptim per a instal·lar és un sistema amb capacitat màxima de 1.33kWh, un dels sistemes més petits en consideració amb la resta. Cal destacar que la casa 6, per autoconsum individual instal·laria bateries de 0.39kWh de capacitat màxima, fet que pot establir que és similar a la casa 9. La diferencia entre aquests 2 habitatges és el consum, mentre la casa 6 té un consum molt gran a totes hores, la casa 9 el té molt petit. Així doncs, la casa 6 no vol acumulació pel fet que tota la generada la consumeix directament i seria només un cost. Però la casa 9 té un perfil de consum que fa que la generació cobreixi de forma bastanta exacta el consum de les hores pic de fotovoltaica sense excedir-se.

D'altra banda es molt interessant veure la diferencia entre com es reparteix el cost si es fa per percentatges de consum amb diferència amb la repartició igual. El fet és que si s'hagués de generar a dia d'avui aquests sistema de generació amb renovables, seria bastant injust fer pagar a tots els habitatges el mateix preu ja que com es pot veure amb aquest estudi, unes cases en farien millor ús que unes altres. Però, també cal dir, que els perfils de consum no són sempre iguals, així doncs cada any serà diferent i potser un altre habitatge pot ser el que més benefici tingui d'aquest sistema.

Per tot això i al meu semblar, encara hi ha bastanta incertesa amb la possibilitat d'implantació d'aquest tipus de sistema d'autoconsum. A part de totes les restriccions a nivell regulatiu que hi poden haver, el fet de crear un sistema d'autoconsum compartit per a diferents habitatges és molt complex.

Com a conclusió final d'aquest fet, es pot establir que l'autoconsum compartit gestionat de forma eficient genera beneficis per a la majoria dels objectes d'estudi. Aquest fet al meu semblar es podria aplicar per a zones públiques en les que hi ha diferents punts de subministrament però al ser públic no importa qui en fa més estalvi.

5. Viabilitat tècnica de la simulació escollida:

En aquest apartat es donarà valors i criteri per tal de realitzar la simulació escollida de forma tècnica, es prioritza ajustar el màxim el pressupost creant un sistema que compleixi amb les condicions.

5.1. Estudi del dimensionat del camp fotovoltaic

A partir d'aquí i tenint en compte que la simulació més òptima ha estat la 3.6, és a dir, la simulació d'autoconsum compartit, als apartats que s'inclouen a continuació s'estudia el dimensionat real que podria tenir el camp fotovoltaic i les característiques tècniques del mateix per donar més reforç a la solució òptima del estudi.

5.1.1. Determinació de la tensió nominal de funcionament

Tot i que per a la realització de la simulació s'han agafat valors de tensió de 24V per al càlcul del cost dels elements, en aquest cas i tenint en compte que la potencia a cobrir és el conjunt de totes les cases, ja seria més òptim un sistema amb voltatge nominal de 48V però fet que la solució òptima no arriba a cobrir tota la superfície disponible, s'utilitzen finalment els 24V.

5.1.2. Estimació del dimensionat del camp solar segons la simulació

Com s'ha pogut veure en els apartats anteriors el consum total a cobrir es de 41084kWh en tot l'any. D'aquests kWh però només s'han de generar al llarg del any 26269kWh, la resta es cobreix o bé amb acumulació de la mateixa o amb compra a la xarxa.

Per tal de poder generar aquesta energia de forma anual, en la simulació en qüestió s'havia de instal·lar una superfície total de 385m². Aquesta superfície, era coberta amb panells de 330W i una superfície per panell de 1.94m². Així doncs, si s'instal·len aquests mateixos panells fotovoltaics escollits per als costos de la simulació, caldrien:

$$\text{Nombre de panells} = \frac{\text{Superfície a instal·lar}}{\text{Superfície per panell}} = \frac{385}{1.94} = 198,4 = 199 \text{ panells} \quad (\text{Eq. 38})$$

La potencia instal·lada doncs hauria de ser:

$$\text{Panells a instal·lar} * \text{Potencia panell} = 199 * 330 = 65670W = 65.7kW) (\text{Eq. 39})$$

5.1.3. Avaluació de les pèrdues de la instal·lació solar fotovoltaica

- Pèrdues d'energia per connexions

Es prendrà un marge de seguretat del 5%. Així doncs:

$$Panells\ adicionales = \frac{5}{100} \cdot panells\ a\ instl \cdot lar = 10\ panells \quad (Eq. 40)$$

- Pèrdues d'energia de la instal·lació completa

Per tal de tenir una estimació de les pèrdues totals de la instal·lació a part de les considerades per les connexions, també s'ha de establir que hi ha pèrdues de la resta d'elements, en aquest cas seria el regulador de tensió, el rendiment de la bateria i les pèrdues per l'efecte Joule. Així doncs seguint l'equació 41:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_X)] \cdot [1 - \frac{K_A \cdot D_{AUT}}{P_{D,m\grave{a}x}}] \quad (Eq. 41)$$

On:

KA = Pèrdues degudes a la auto descarrega diària de la bateria.

KB = Pèrdues degudes al rendiment de la bateria

KC = Pèrdues degudes al rendiment del inversor DC/AC i al inversor DC/DC

KX = Altres pèrdues (efecte Joule, caiguda de tensió)

DAUT = Dies de autonomia de la instal·lació

PD, màxima = Profunditat de descarrega en (%)

Per al conjunt de rendiments s'aplica un 10% però pel fet d'auto descarrega i de la necessitat de dies d'autonomia, no es genera ninguna pèrdua ja que el funcionament de la bateria en cap moment ha d'emmagatzemar tanta energia com per tenir un cicle de descarrega tant continu.

Així doncs;

$$Panells\ adicionales = \frac{10}{100} \cdot panells\ a\ instl \cdot lar = 20\ panells \quad (Eq. 42)$$

5.1.4. Càlcul del número total de mòduls en paral·lel y en sèrie

El nombre de fileres en paral·lel que s'haurien de posar segueixen l'equació:

$$n_{ps} = \frac{V_{nom}}{V_{mp}} = \frac{24}{37.89} = 0.63 \quad (\text{Eq. 43})$$

On:

N_{pp} = El número de panells connectats en sèrie per arribar a la tensió nominal del sistema.

V_{nom} = Tensió nominal de la instal·lació en (V).

V_{mp} = Tensió en el punt de màxima potencia proporcionada pel panel en (V).

Això indica que el nombre és inferior a la unitat per tant, en el sistema tots els panells han d'estar ubicats en sèrie.

Per altra banda, en sèrie i d'acord amb les ampliacions del sistema per cobrir possibles pèrdues i coeficients de seguretat, el sistema a instal·lar hauria de ser de una totalitat de 229 panells.

La superfície necessària per tal d'instal·lar aquests 229 panells seria:

$$\text{Panells a instal·lar} * \text{superfície de panell} = 229 * 1.94 = 445m^2 \quad (\text{Eq. 44})$$

Per altra banda però, la superfície màxima d'instal·lació es de 420m², així que la totalitat de panells que es poden instal·lar serien:

$$\text{Nombre de panells} = \frac{\text{Superfície a instal·lar}}{\text{Superfície per panell}} = \frac{420}{1.94} = 216 \text{ panells} \quad (\text{Eq. 45})$$

Tots aquests panells s'haurien de connectar en sèrie per tal de subministrar la potencia necessària.

5.1.5. Càlcul de la capacitat total de las bateries d'emmagatzematge

Primer de tot indicar que s'utilitzen bateries amb una capacitat de descarrega amb regiment de 100 hores ja que son les idònies per als sistemes de ESF. Si s'utilitzessin amb regiment de descarrega de 20 hores no es sobredimensionaria l'acumulador un 25% fet que es compensaria amb la pèrdua de capacitat del pas del temps.

Per calcular la capacitat total del emmagatzematge es tindrà en compte la profunditat de descarrega, i la capacitat requerida en la simulació, així doncs:

$$C_{alm} = \frac{C_{req}}{P_{D,max}} * 100 = \frac{12}{60} * 100 = 20 \quad (\text{Eq. 46})$$

On:

C_{alm} = Capacitat total d'emmagatzematge en (kWh)

C_{req} = Capacitat total d'emmagatzematge per cobrir la simulació en (kWh)

$P_{D, \text{máx.}}$ = Profunditat màxima de descarrega en (%)

A partir del voltatge nominal del sistema de 24V y la capacitat d'emmagatzematge requerida, també amb la tria de la bateria dels apartats anteriors es dimensiona el número de bateries en paral·lel requerides:

$$n_{bp} = \frac{C_{alm}}{C_{bat,nom}} = \frac{C_{alm}}{C_{100}} = \frac{20}{13.2} \quad (\text{Eq. 47})$$

On:

n_{bp} = El número de bateries connectades en paral·lel

C_{alm} = Capacitat total d'emmagatzematge en (kWh)

$C_{bat,nom}$ = Capacitat nominal de una sola bateria en (kWh)

El resultat dona un valor de 2 bateries en paral·lel. En canvi pel càlcul de las bateries en sèrie s'usa la següent expressió amb resultat igual a 1.

$$n_{bs} = \frac{V_{nom}}{V_{bat,nom}} = \frac{24}{24} \quad (\text{Eq. 48})$$

On:

n_{bs} = El número de bateries connectades en sèrie per arribar a la tensió nominal del sistema.

V_{nom} = tensió nominal de la instal·lació en (V).

$V_{bat,nom}$ = tensió nominal de una sola bateria en (V).

5.1.6. Dimensionat del regulador (convertidor DC/DC)

La funció bàsica del regulador és ubicar-se entre els panells i la bateria per tal de gestionar el flux de l'energia de la generació a l'acumulació o al consum en cas que calgui, serveix com a una forma de derivador eficient.

Per iniciar el dimensionat del regulador s'ha d'indicar que el regulador es determina pel corrent màxim proporcionat pels panells o per la corrent màxima requerida del consum. Així doncs, la corrent atorgada dels panells al regulador ve definit per:

$$I_G = 1.05 * n_{pp} * I_{mp} = 1.05 * 219 * 8.71 = 2003 \quad (\text{Eq. 49})$$

On:

I_G = Màxima corrent aportada per el conjunt en (A)

n_{pp} = El número de panells connectats en sèrie per arribar a la tensió nominal del sistema

I_{mp} = Corrent en el punt de màxima potencia aportada pel panell en (A)

*1.05 s'ha considerat com factor de seguretat.

Per altra banda referent al conjunt de carregues, el corrent proporcionat pel regulador ha de ser:

$$I_L = \frac{P_{contractada}}{V_{nom}} = \frac{65100 * 0.75}{24} = 2035 \quad (\text{Eq. 50})$$

On:

I_L = Màxima corrent aportada pel regulador en (A)

V_{nom} = Tensió nominal de la instal·lació en (V)

P_{DC} = Potencia consumida per carregues

*0.75 s'ha considerat com potencia consumida real en un moment punta

Aleshores; s'escull un regulador que compleix que la intensitat ha de ser la major de els dos per tant major a 2035 A. Després de una exhaustiva recerca al mercat no es troba un regulador que pogués fer-ho de forma única però existeix la possibilitat d'ubicar reguladors en paral·lel per realitzar-ho.

El model escollit ha estat el Regulador de Carrega Solar 60A Schneider Xantrex.



Il·lustració 10 : Regulador escollit, Xantrex. (Font: Autosolar[7])

Per aquesta situació i tenint en compte que cada unitat té la capacitat de regular 60 A:

$$n_{rp} = \frac{I_L}{I_{nom}} = \frac{2035}{60} = 33.91 \quad (\text{Eq. 51})$$

En conclusió, la instal·lació consta de 34 reguladors 60A Schneider connectats en paral·lel.

5.1.7. Altres elements a tenir en compte

Per a la realització real del sistema fotovoltaic d'estudi, caldria també un inversor DC/AC per cobrir els consums de les cases en alterna, per tal de dimensionar aquest valor es faria mitjançant:

$$P_{inv} = \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \quad (\text{Eq. 52})$$

On:

P_{inv} = Potència necessària pel convertidor DC/AC en (W).

P_{AC} = Potència consumida per les carregues en AC en (W).

η_{inv} = Rendiment del inversor.

El fet de no conèixer la potència consumida per les carregues en AC, impossibilita la parametrització del sistema convertidor. Per altra banda i per tenir un ordre de magnitud del mateix i per poder incloure'l al estudi econòmic, es dimensiona el convertidor DC/AC mitjançant un sistema de rati, és

a dir, un sistema amb potencia de 4kW que inclogués un inversor de 4kW tindria un rati de conversió del 100%.

Degut a que realitzant treballs anteriors s'ha apreciat que la majoria del consum es pot realitzar en AC, es tindria en compte un 80% de rati. Per altra banda degut a les pèrdues generals que pot sofrir normalment es sobredimensiona a un valor de 1.2 per tal d'aconseguir un rati del 100%. Així doncs queda definida la potencia necessària per l'inversor per l'equació 53.

$$P_{inv} = \frac{P_{Panell} * Rati * FS}{\eta_{inv}} = \frac{216 * 330 * 0.8 * 1.2}{0.973} = 70328W = 70.33kW \quad (\text{Eq. 53})$$

On:

P_{inv} = Potencia necessària pel convertidor DC/AC en (W).

P_{Panell} = Potencia del sistema fotovoltaic en (W).

Rati = Rati de consum en AC.

FS = Factors de seguretat.

η_{inv} = Rendiment del inversor.

Per tal de dimensionar el inversor doncs s'ha escollit un per sobre d'aquesta potencia per si en algun cas es tingués que invertir el 100% de la potencia. El inversor escollit és AURORA PVI-CENTRAL-100 que té les condicions de la figura 11.

CHARACTERISTICS	PVI-CENTRAL-100 w/transfer	PVI-CENTRAL-100-TL w/o transformer
Input Parameters		
Maximum recommended PV power (kWp), Total (master slave mode) Per Channel (multi-master mode)	110 55	110 55
Absolute maximum input voltage (Vdc)	600	600
MPPT input voltage range Vdc	330-600(400 nominal)	330-600(400 nominal)
Maximum input current (Adc), Master-slave mode Multi-master mode (per module)	340 170	340 170
Input Reflected Ripple voltage	< 3%	< 3%
Number of DC inputs available (multi-master configuration)	2	2
Input overvoltage protections	2 (1 of each input)	2 (1 of each input)

Il·lustració 11 : Característiques tècniques del inversor. (Font: AURORA[25])

Altres elements els quals no es parametritzen en aquest apartat, són les proteccions i el cablejat. Degut a que la possible instal·lació a realitzar es faria sobre una instal·lació ja existent, el desconeixement de la situació actual limita la possibilitat de dimensionar el cablejat i les proteccions del sistema.

6. Anàlisi de l'impacte ambiental

La realització de la instal·lació que dona per optima aquest treball, tindria un impacte ambiental a priori positiu, és a dir, una instal·lació fotovoltaica destaca per ser una font d'energia renovable i no contaminant.

En cas de qualsevol possible averia o accident que es pogués crear a la instal·lació, no suposaria cap conseqüència ambiental diferent de les que es podrien generar si no s'hagués realitzar la instal·lació. L'única diferència que es pot percebre en aquest cas seria si hi hagués algun incident com per exemple foc, el conjunt d'elements de la instal·lació podrien ampliar aquest esdeveniment inclús generar alguna petita explosió per exemple als sistemes d'acumulació.

En referència al benefici que genera la generació d'energia a partir del recurs solar, hi ha bastanta ambigüitat en aquest tema. És veritat que a dia d'avui l'origen de l'energia consumida a l'estat espanyol té una participació aproximada del 40% partir de fonts d'energia renovable. Però tot i així l'altre 60% de l'energia que es consumeix té precedència de fonts no renovables i contaminants.

Per tant, el fet de generar aquesta energia en comptes de comprar-la directament de la xarxa, garanteix que el percentatge d'energia que prové de forma no contaminant és clarament superior.

Però tot i així, ¿Els residus i la contaminació emesa per a la generació dels sistemes d'energia renovable compensa finalment a nivell ambiental? És a dir, el fet de generar tots els panells, el sistema d'acumulació, les connexions i demés elements, suposa un sistema de fabricació el qual no està dimensionat en nivell de contaminació.

Per tot això, realment generar sistemes d'autoconsum a partir de renovables pot semblar una solució per al impacte ambiental, però a dia d'avui és molt imprecís i ambigu el resultat real que aquests generen.

Per últim també cal indicar que aquestes instal·lacions realitzen un impacte visual bastant considerable, els conjunts de panells normalment no generen atractiu en els habitatges.

Conclusions

En aquest apartat es pretén donar una conclusió clara i concisa de la realització del treball.

Així doncs, com a primera premissa es pot establir que la hipòtesi lògica es compleix, és a dir, el fet de la viabilitat de l'autoconsum compartit augmenta la capacitat de reduir els costos de les instal·lacions d'autoconsum. Sobre aquest fet és important que no tan sols s'aconsegueix optimitzar a nivell econòmic sinó que també genera que la energia comprada a la xarxa es disminueix e inclús que es pot exportar a la xarxa.

És veritat però, que el fet de tenir un sistema d'autoconsum compartit dificulta la viabilitat tècnica de la instal·lació ja que les magnituds són totes majors i menys aproximades al mercat. També cal destacar que a dia d'avui hi ha molta incertesa sobre aquest aspecte i el fet de veure que per a habitatges en qüestió depenent del perfil de consum és més econòmic l'autoconsum individual que el compartit, genera certa desconfiança.

Per tant, queda establert que el fet d'expandir-se cap a l'autoconsum compartit pot ser una solució eficient. Ara per ara però, potser cal una mica més de possibilitats de mercat i de millores en els equips per tal de guanyar eficiència i rendibilitat.

Sens dubte sembla que és un recurs molt eficient per a les noves construccions, les quals amb algun sistema així guanyarien un valor afegit molt important. Per altra banda i per zones existents potser seria interessant per abastir zones públiques molt grans on la inversió estigui feta per part de capital públic i es prioritzi aspectes com que és una energia renovable i bastant poc contaminant.

Anàlisi Econòmica

En aquest apartat es dona una visió econòmica dels costos del treball, tant de material, com mà d'obra que caldria per poder implementar la instal·lació que s'ha dimensionat en el treball. A més a més s'inclou a la valoració econòmica els costos d'enginyeria i de realització de l'estudi.

- Costos de la instal·lació

Primer de tot cal dimensionar els costos de la de la totalitat del treball, s'inclouen varis aspectes com la realització del mateix, el pressupost de materials, la obra civil, inclús el manteniment que suposa.

Pressupost					
Material	Quantitat	Model	Preu/u (€)	Preu total (€)	% del cost
	216	Panell Ennova PEPV 330W	179,7	38.815,20	58%
	2	Bateria Power 550Ah 24V UP-GC16	1375,94	2.751,88	4%
	34	Regulador de Carrega Solar 60A Schneider Xantrex	147,74	5.023,16	7%
	1	Inversor AURORA PVI-CENTRAL-100	2782,15	2.782,15	4%
	1	Cablejat	3000	3.000,00	4%
SUB TOTAL				52.372,39	78%
Manteniment	-	(OPEX) Operació i manteniment	5%	2.618,62	4%
SUB TOTAL				2.618,62	4%
Obra civil	Hores	Operaris	Preu/u (€)	Preu total (€)	-
	134	3	10	4.020,00	6%
SUB TOTAL				4.020,00	6%
Estudi	Unitats	Descripció	Preu/u(€)	Preu total (€)	-
	560	Hores de treball (h)	14	7.840,00	12%

	235	Desplaçament (km)	0,26	61,10	0%
	1	Pack office	65	65,00	0%
SUB TOTAL				7.966,10	12%
TOTAL				66.977,11	100%

Taula 23 : Pressupost dels costos de la instal·lació. (Font: Iván Fernández)

Costos d'estudi: inclouen l'estudi del recurs solar, anàlisi del emplaçament, disseny inicial, estudi de l'impacte mediambiental, estudi de rendibilitat i gestió del projecte.

Els costos de material: inclouen la producció de la instal·lació solar fotovoltaica i tots els equips auxiliars.

Costos d'obra civil: Són els costos associats a la realització real de la instal·lació.

Costos d'operació i manteniment.(OPEX): Aproximadament un 5% de la inversió.

- Benefici anual de realitzar la instal·lació

En aquest apartat es dona el valor del benefici en cas de que el consum sigues exactament el mateix en tots els anys. Òbviament aquest valor no és exactament el mateix cada any però es deconeix el perfil de consum a futur.

Per tant i tenint en compte que la simulació 3.6 té un cost de compra de 2426€/any respecte al cost de la simulació 1.1 de 4983€/any, la diferencia respecte a la compra anual és de 2557€. Per altra banda també s'ha de tenir en compte que a la simulació 3.6 s'exporta energia a xarxa i per tant hi ha un benefici brut de 284€. El total de benefici anual és 2841€.

Amb tots aquests valors ja definits es procedeix a fer realitzar el VAN de la instal·lació.

Estudi d'amortització					
PERÍODE	INVERSIÓ	ESTALVI	MOV. FONTS	FLUX ACUMULAT	VAN (€)
0	66977,11	0,00	-66977,11	-66977,11	-66977,11
1	0,00	2841,00	2841,00	-64136,11	-64164,24
2	0,00	2841,00	2841,00	-61295,11	-61379,22
3	0,00	2841,00	2841,00	-58454,11	-58621,77
4	0,00	2841,00	2841,00	-55613,11	-55891,63
5	0,00	2841,00	2841,00	-52772,11	-53188,51
6	0,00	2841,00	2841,00	-49931,11	-50512,16
7	0,00	2841,00	2841,00	-47090,11	-47862,31
8	0,00	2841,00	2841,00	-44249,11	-45238,69
9	0,00	2841,00	2841,00	-41408,11	-42641,05

10	0,00	2841,00	2841,00	-38567,11	-40069,13
11	0,00	2841,00	2841,00	-35726,11	-37522,68
12	0,00	2841,00	2841,00	-32885,11	-35001,43
13	0,00	2841,00	2841,00	-30044,11	-32505,15
14	0,00	2841,00	2841,00	-27203,11	-30033,59
15	0,00	2841,00	2841,00	-24362,11	-27586,50
16	0,00	2841,00	2841,00	-21521,11	-25163,63
17	0,00	2841,00	2841,00	-18680,11	-22764,75
18	0,00	2841,00	2841,00	-15839,11	-20389,63
19	0,00	2841,00	2841,00	-12998,11	-18038,02
20	0,00	2841,00	2841,00	-10157,11	-15709,69
21	0,00	2841,00	2841,00	-7316,11	-13404,42
22	0,00	2841,00	2841,00	-4475,11	-11121,97
23	0,00	2841,00	2841,00	-1634,11	-8862,12
24	0,00	2841,00	2841,00	1206,89	-6624,65
25	0,00	2841,00	2841,00	4047,89	-4409,32
26	0,00	2841,00	2841,00	6888,89	-2215,94
27	0,00	2841,00	2841,00	9729,89	-44,26
28	0,00	2841,00	2841,00	12570,89	2105,91
29	0,00	2841,00	2841,00	15411,89	4234,79

Taula 24 : Estudi d'amortització total. (Font: Iván Fernández)

$$VAN = -I_o + \frac{B}{(1+k)^1} + \frac{B}{(1+k)^2} + \dots + \frac{B}{(1+k)^n} \quad (\text{Eq. 54})$$

On:

I_o = Inversió inicial en (€).

B = Benefici anual en (€).

k = Coeficient de devaluació del diner.

N = Període en el que es troba.

Com es pot observar i tenint la formula del van que es veu plasmada a l'equació 54, amb una taxa de devaluació del diner del 1%, el balanç comença a ser positiu a partir del 28^è any. Per tant la vida útil mínima dels elements exceptuant les falles que hi poden haver puntuals que ja estan cobertes amb els costos de manteniment inclosos en la inversió inicial hauria de ser mínim 28 anys.

A dia d'avui i tal com es troben desenvolupats els productes del mercat la vida mitjana d'un sistema fotovoltaic es troba entre els 20 i 25 anys per tant no es podria complir aquest fet. Si és veritat que el sistema està sobredimensionat del estudi òptim i per tal la rendibilitat econòmica aconseguida no es la esperada.

Per altra banda però dona una visió molt positiva respecte a la resta de projectes que s'han realitzat per l'usuari respecte a cobrir les necessitats energètiques totals per mitjà d'un sistema fotovoltaic. Fins a aquest punt, es pot establir que ajustant valors i aconseguint una màxima optimització, la viabilitat de instal·lar un sistema fotovoltaic per tal de disminuir costos pot arribar a ser viable.

Per altra banda i com podem veure amb el flux de caixa total, sense depreciació del valor del diner s'aconseguiria en 24 anys una amortització positiva així que, amb aquesta dada, podrien arribar a estar dins dels valors de vida útil.

Per últim, es realitza el mateix estudi extraient els costos de generació del projecte que en aquest cas i degut al tipus de estudi realitzat sobredimensionen molt els costos. Per tal quedaria tal que:

Estudi d'amortització					
PERÍODE	INVERSIÓ	ESTALVI	MOV. FONTS	FLUX ACUMULAT	VAN (€)
0	59011,01	0,00	-59011,01	-59011,01	-59011,01
1	0,00	2841,00	2841,00	-56170,01	-56198,14
2	0,00	2841,00	2841,00	-53329,01	-53413,12
3	0,00	2841,00	2841,00	-50488,01	-50655,67
4	0,00	2841,00	2841,00	-47647,01	-47925,53
5	0,00	2841,00	2841,00	-44806,01	-45222,41
6	0,00	2841,00	2841,00	-41965,01	-42546,06
7	0,00	2841,00	2841,00	-39124,01	-39896,21
8	0,00	2841,00	2841,00	-36283,01	-37272,59
9	0,00	2841,00	2841,00	-33442,01	-34674,95
10	0,00	2841,00	2841,00	-30601,01	-32103,03
11	0,00	2841,00	2841,00	-27760,01	-29556,58
12	0,00	2841,00	2841,00	-24919,01	-27035,33
13	0,00	2841,00	2841,00	-22078,01	-24539,05
14	0,00	2841,00	2841,00	-19237,01	-22067,49
15	0,00	2841,00	2841,00	-16396,01	-19620,40
16	0,00	2841,00	2841,00	-13555,01	-17197,53
17	0,00	2841,00	2841,00	-10714,01	-14798,65
18	0,00	2841,00	2841,00	-7873,01	-12423,53
19	0,00	2841,00	2841,00	-5032,01	-10071,92
20	0,00	2841,00	2841,00	-2191,01	-7743,59
21	0,00	2841,00	2841,00	649,99	-5438,32
22	0,00	2841,00	2841,00	3490,99	-3155,87
23	0,00	2841,00	2841,00	6331,99	-896,02
24	0,00	2841,00	2841,00	9172,99	1341,45
25	0,00	2841,00	2841,00	12013,99	3556,78
26	0,00	2841,00	2841,00	14854,99	5750,16
27	0,00	2841,00	2841,00	17695,99	7921,84

28	0,00	2841,00	2841,00	20536,99	10072,01
29	0,00	2841,00	2841,00	23377,99	12200,89

Taula 25 : Estudi d'amortització total. (Font: Iván Fernández)

En aquest cas, el VAN resulta positiu a partir del any 24 i per tant la viabilitat del projecte comença a ser una realitat. El moviment de fons es positiu al any 21. Així doncs el període de retorn de la inversió son 21 anys, 9 mesos i 7 dies aproximadament. En cas que passat aquest temps, la vida útil dels elements hagués estat suficient per tal de no tenir pèrdues en el sistema.

Per altra banda però s'ha de tenir també en compte que una instal·lació d'aquesta tipologia aporta un valor afegit molt gran per als habitatges, és a dir, el preu d'una possible venda d'un habitatge en qüestió, es veu augmentat de forma substancial una vegada realitzada la instal·lació.

Per últim també es pot considerar que cada vegada és mes necessària l'aportació d'energies renovables per a cobrir les necessitats energètiques de les cases. A dia d'avui, per legalitat, s'ha d'instal·lar un sistema ACS de suport en totes les construccions d'obra nova de forma obligatòria.

Per tot això, a nivell econòmic es pot establir que tot i no ser el valor esperat, s'ha aconseguit una primera aproximació al que seria un sistema realment viable per a cobrir necessitats energètiques i reduir la compra d'energia a xarxa de forma substancial amb una possible rendibilitat econòmica associada.

Bibliografia

1. A. Schröder, P. Abrams (Co-Chairman), K-E. Andersson, W. Artibani, C.R. Chapple, M.J. Drake, C. Hampel, A. Neisius, A. Tubaro, J.W.T. (Chairman). *Search @ Www.Google.Es* [en línia]. Disponible a:
[https://www.google.es/search?safe=active&hl=es&biw=930&bih=956&q=LA+CALIDAD+DE+VIDA;+Zamberlan,+C.,+Calveti,+A.,+Deisvaldi,+J.,+&+De+Siqueira,+H.+C.+H.+\(2010\).+Calidad+de+vida,+salud+y+enfermer?a+en+la+perspectiva+ecosist?mica.+Enfermer?a+Global,+\(20\),+0-](https://www.google.es/search?safe=active&hl=es&biw=930&bih=956&q=LA+CALIDAD+DE+VIDA;+Zamberlan,+C.,+Calveti,+A.,+Deisvaldi,+J.,+&+De+Siqueira,+H.+C.+H.+(2010).+Calidad+de+vida,+salud+y+enfermer?a+en+la+perspectiva+ecosist?mica.+Enfermer?a+Global,+(20),+0-)
2. A. Schröder, P. Abrams (Co-Chairman), K-E. Andersson, W. Artibani, C.R. Chapple, M.J. Drake, C. Hampel, A. Neisius, A. Tubaro, J.W.T. (Chairman). *Search @ Www.Google.Es* [en línia]. Disponible a:
[https://www.google.es/search?safe=active&hl=es&biw=930&bih=956&q=LA+CALIDAD+DE+VIDA;+Zamberlan,+C.,+Calveti,+A.,+Deisvaldi,+J.,+&+De+Siqueira,+H.+C.+H.+\(2010\).+Calidad+de+vida,+salud+y+enfermer?a+en+la+perspectiva+ecosist?mica.+Enfermer?a+Global,+\(20\),+0-](https://www.google.es/search?safe=active&hl=es&biw=930&bih=956&q=LA+CALIDAD+DE+VIDA;+Zamberlan,+C.,+Calveti,+A.,+Deisvaldi,+J.,+&+De+Siqueira,+H.+C.+H.+(2010).+Calidad+de+vida,+salud+y+enfermer?a+en+la+perspectiva+ecosist?mica.+Enfermer?a+Global,+(20),+0-)
3. Black, A. Alidad europea. A: [en línia]. 2005, p. 33-34. Disponible a:
<https://www.ennovaenergia.com/images-productos/301-panel-solar-ennova-pepv-330w-foto4.pdf>.
4. European Convention. *Pvest @ Re.Jrc.Ec.Europa.Eu* [en línia]. Disponible a:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>.
5. Garanzia, D.I. Panasonic Solar. A: [en línia]. Disponible a: https://eu-solar.panasonic.net/cps/rde/xbcr/solar_en/2018_Panasonic_HIT_catalogo_IT.pdf.
6. Van der Stelt, S., AlSkaif, T. i Van Sark, W. Techno-economic analysis of household and community energy storage for residential prosumers with smart appliances. A: *Applied Energy* [en línia]. Elsevier, 2018, Vol. 209, núm. November 2017, p. 266-276. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2017.10.096. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.096>.
7. *controlador-de-carga-solar-60a-schneider-xantrex-c60 @ autosolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/reguladores-de-carga-pwm/controlador-de-carga-solar-60a-schneider-xantrex-c60>.
8. *bateria-tudor-enersol-t-24v-890ah-estacionaria-12-vasos @ autosolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-topzs-24v/bateria-tudor-enersol-t-24v-890ah-estacionaria-12-vasos>.

9. *bateria-tudor-enersol-t-24v-668ah-estacionaria-12-vasos @ autosolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-topzs-24v/bateria-tudor-enersol-t-24v-668ah-estacionaria-12-vasos>.
10. *bateria-upower-550ah-24v-up-gc16 @ autosolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias/bateria-upower-550ah-24v-up-gc16>.
11. *bateria-rolls-24v-s480-480ah-c100 @ autosolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias/bateria-rolls-24v-s480-480ah-c100>.
12. *solar-panel-vbhn325sj47-vbhn330sj47 @ eu-solar.panasonic.net* [en línia]. Disponible a: <https://eu-solar.panasonic.net/en/solar-panel-vbhn325sj47-vbhn330sj47.htm>.
13. *d82ed3f596f2cd314534e6fd6299112481bc33b7 @ www.sfe-solar.com* [en línia]. Disponible a: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>.
14. *4edaf8e8ccdeffc85f2af5e42e52de5fc04b9bfa @ www.sfe-solar.com* [en línia]. Disponible a: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>.
15. *f7779eb90f5c72737479faa606c345aadeb06eed @ photosolar.es* [en línia]. Disponible a: <http://photosolar.es/2017/04/18/almacenamiento-energetico-baterias-acumuladores-sistemas-fotovoltaicos/>.
16. *105-bateria-de-litio-solar-soltaro @ www.elalmacensolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://www.elalmacensolar.es/105-bateria-de-litio-solar-soltaro>.
17. *data=!4m14!1m7!3m6!1s0x12a784e6877c2c27:0xc9c3e752ae82b1dd!2sCalle+San+Antonio+Maria+Claret,+22300,+Huesca!3b1!8m2!3d42 @ www.google.es* [en línia]. Disponible a: <https://www.google.es/maps/place/42°01'51.8%22N+0°07'36.3%22E/@42.0310581,0.1179962,15z/data=!4m14!1m7!3m6!1s0x12a784e6877c2c27:0xc9c3e752ae82b1dd!2sCalle+San+Antonio+Maria+Claret,+22300,+Huesca!3b1!8m2!3d42.0310894!4d0.1264922!3m5!1s0x0:0x0!7e2!8m2!3d42.0310591!4d0.1267507>.
18. *autoconsumo-compartido-en-tu-casa-y-en-20171010 @ www.energias-renovables.com* [en línia]. Disponible a: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/autoconsumo-compartido-en-tu-casa-y-en-20171010>.
19. *reguladores-de-carga-pwm @ autosolar.es* [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/reguladores-de-carga-pwm?page=2>.

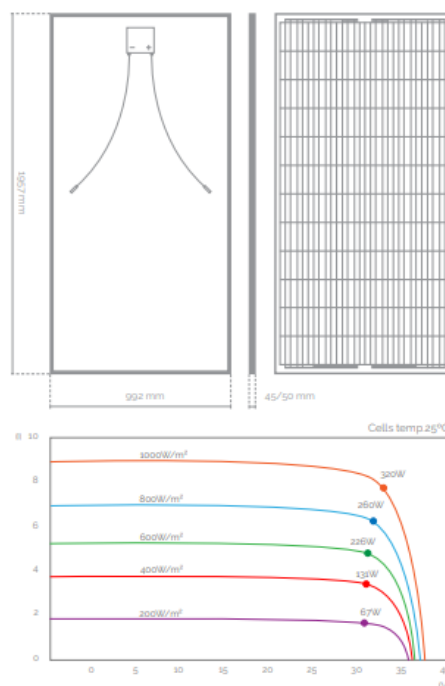
-
20. 483d7ed99926ddb81604071214c1282d7447f80b @ nergiza.com [en línia]. Disponible a: <https://nergiza.com/ac-dc-corriente-continua-o-corriente-alterna-diferencias-y-claves-de-su-funcionamiento/>.
21. sistema-de-coordenadas @ www.coordenadas-gps.com [en línia]. Disponible a: <https://www.coordenadas-gps.com/sistema-de-coordenadas>.
22. factura-luz-ml @ www.endesaclientes.com [en línia]. Disponible a: <https://www.endesaclientes.com/factura-luz-ml.html>.
23. e06adc15037e2a91909000e3ffe527ca0b0372c4 @ www.ree.es [en línia]. Disponible a: <https://www.ree.es/es/>.
24. medidas-electricas @ www.ree.es [en línia]. Disponible a: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/medidas-electricas>.
25. Specifications, G. i Models, C. PVi-centRAl-50 PVi-centRAl-100. A: [en línia]. p. 1-4. Disponible a: https://library.e.abb.com/public/80f5ed54b6b46ca885257cfa0071b753/pvi-central-50-100_us.pdf.
26. Bisschop, J. (1989). *AIMMS: Prescriptive Analytics and Supply Chain Management*. Holanda: Paragon Decision Technology B.V.
27. panel-solar-24-voltios @ autosolar.es [en línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios>.Annex A

A1. Documents tècnics dels equips utilitzats

- Panell

Característiques mecàniques

Marco
Aluminió anoditzat plateado 0,015 mm
Robusto y resistente a la corrosión
Toma de tierra incorporada
Caja de conexión
Sellada, robusta y amplia favoreciendo disipación de calor
IP65 según la norma IEC 60529
Diodos by-pass incorporados (3) para protección del sombreado parcial
Conector MC4 o compatible, fácil y rápida conexión
Cables 125 metros de longitud y 4 mm ² de sección
Reacción al Fuego Clase II (conforme a norma UNI 9177)
Frontal
Vidrio templado de 3,2 mm de espesor
Texturizado, bajo contenido en hierro, extra-claro
Células solares
72 células, silicio policristalino / 156x156 mm
Peso y dimensiones (L x A) +/-1% mm
24 Kg 1957 x 992 x 45/50 mm



Valores elèctrics

Valores elèctrics

Standard - All Black	PEPV 285	PEPV 290	PEPV 300	PEPV 310	PEPV 320	PEPV 330
Potencia nominal, P _{mp}	285 W	290 W	300 W	310 W	320 W	330 W
Tolerancia, P _{mp}	0 / +3%	0 / +3%	0 / +3%	0 / +3%	0 / +3%	± 3%
Àrea del mòdul	194					
Eficiencia del mòdul	14,69%	14,95%	15,46%	15,98%	16,49%	17,01%
I _{sc}	8,47 A	8,58 A	8,71 A	8,86 A	9,05 A	9,36 A
U _{oc}	45,00 V	45,19 V	45,58 V	46,00 V	46,28 V	46,58 V
I _{mp}	7,88 A	7,97 A	8,13 A	8,32 A	8,49 A	8,71 A
U _{mp}	36,17 V	36,65 V	36,90 V	37,26 V	37,69 V	37,89 V
Tensió màxima	1000 V					
α I _{sc}	0,03% / °C					
β U _{oc}	- 0,29% / °C					
γ P _{max}	- 0,42% / °C					
Rango de temperatura	- 40°C to +85°C					
NOCT	48°C ± 2°C					

NOTA: Lea el manual de instrucciones de este producto y siga sus indicaciones. Valores válidos para: 1000W/m², AM 1,5 y una temperatura de célula de 25°C. Toda la información de este folleto puede ser modificada por Eurenor sin previo aviso.

- Bateria

UP-GC16-6RE



Mechanical Characteristics		
	SI Units	US Units
Length	318 mm	12.52 inches
Width	181 mm	7.12 inches
Height	425 mm	16.73 inches
Weight	52.00kg	114.6 lb
BCI Group Size		GC2
Cell Layout		0
Base Hold-Down		B0
Terminal Type		DT
 Terminal height: 18.5 mm – 0.73 in Bolt size: 5/16		

Electrical Characteristics	
Nominal voltage	6 Volts
C100 Rated Capacity (120h)	600 Ah
C5 Rated Capacity (100h)	550Ah
Reserve Capacity @ 25A	880 min
Reserve Capacity @ 75A	225 min

Operational temperature range: -20°C to + 55°C (always keep the battery charged at least 60% at temperatures below 0°C)

Charging Instructions at 25°C	
Daily charge	7.40V ± 0.05V
Float charge	6.60V
Equalize charge	7.70V ± 0.05V

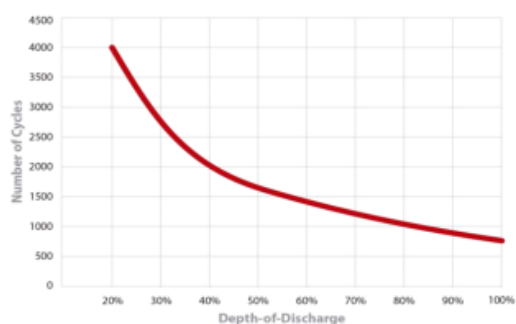
* Do not install or charge batteries in non-ventilated premises.
 * The charging is of special importance because both over and under charging will severely limit the life of the batteries. If the batteries will stay for an extended period without being used please ensure they are routinely checked, cleaned and fully charged before being stored.

Battery temperature adjustment:

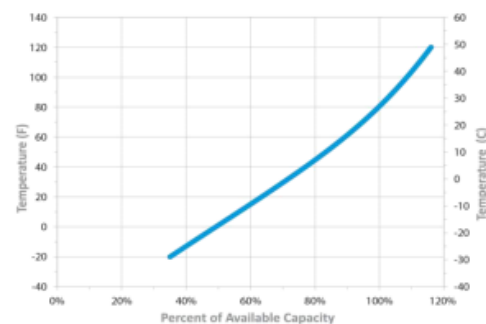
Reduce the voltage by 0.028V per cell for every 10°C above 25°C, increase the voltage by 0.028V per cell for every 10°C below 25°C.

Deep cycle batteries need to be equalized periodically. Actively used batteries should be equalized at least twice per year.

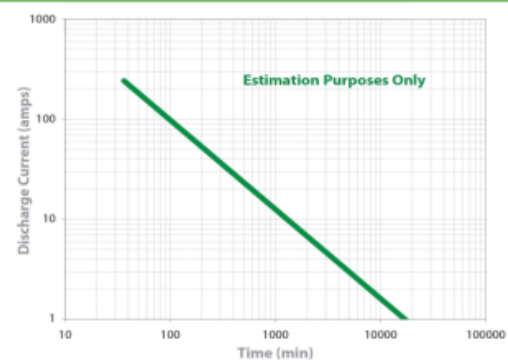
Typical Cycle Life in a Stationary Application



Percent Capacity Vs. Temperature



Performance



- Inversor

TECHNICAL DATA	VALUES	PVI-CENTRAL-50-US-208	PVI-CENTRAL-100-US-208	PVI-CENTRAL-50-US-480	PVI-CENTRAL-100-US-480
Nominal Output Power	kW	50	100	50	100
Rated Grid AC Voltage	V	208	208	480	480
Input Data (DC)					
Absolute Maximum Input Voltage	V	600		600	
Start-Up Voltage	V	330		330	
MPPT Voltage Range	V	330-600		330-600	
Number of Inputs (MPPT)		1x50kW	1x100kW	1x50kW	1x100kW
Max Current per 50kW inverter module		170		170	
DC Switch		Yes, 1 per module load break		Yes, 1 per module load break	
DC Fuses	A/V	200A (Module protection, 1per 50kW)		200A (Module protection, 1per 50kW)	
DC Connections		1pr. x 10mm threaded stud per input 90° C terminals/Al/Cu wire capable		1pr. x 10mm threaded stud per input 90° C terminals/Al/Cu wire capable	
Output Values (AC)					
Maximum Output Current	A	139	278	61	121
Grid Standard		Three-Phase-208/ 3W + PE		Three-Phase-480/ 3W + PE	
Grid Frequency (Range)	Hz	60(59.3-60.5)		60(59.3-60.5)	
Voltage Range	V	183-228		422-528	
AC Connection		3x2/0 AWG 90°/ M10		3x2/0 AWG 90°/ M10	
Power Factor		>0.995		>0.995	
Total Harmonic Distortion	% of P _{ac}	<4		<3	
Mechanical Specifications					
Cooling		Air Forced		Air Forced	
Required Air Cooling Flow	CFM (m³/h)	885 (1500)		885 (1500)	
Dimension (HxWxD)	ft(mm)	50.2x66.0x33.5 (1275x1675x850)		50.2x66.0x33.5 (1275x1675x850)	
Unit Weight	lb(kg)	1550 (700)	1873(850)	1550(700)	1873 (850)
Weight of the Module	lb(kg)	154(<70)		154(<70)	
Shipping Weight	lb(kg)	1664(754.78)	2224(1008.80)	1664(754.78)	2224(1008.80)
Environmental Protection Rating		NEMA 1		NEMA 1	
Auxiliary Power Supply Consumption	% of P _{ac}	<0.40		<0.40	
Operation Temperature Range	°F(°C)	-14...+122°F (-10...+50 °C) with derating above 104°F (40°C)		-14...+122°F (-10...+50 °C) with derating above 104°F (40°C)	
Noise Emission Level	dBA@1m	<62		<62	
Maximum Operating Altitude without Derating	ft(m)	3280(1000)		3280(1000)	
Relative Humidity	%	0-95 non condensing		0-95 non condensing	
Operating Performance					
Consumption in Standby (nighttime)	W	<15	<30	<15	<30
Safety Agency Marking		cCSAus		cCSAus	
Utility Interconnect Standard		UL 1741/ IEEE1547/CSA - C22.2 N. 107.1-01		UL 1741, CSA - C22.2 N. 107.1-01	
Efficiency					
Weighted CEC Efficiency	%	95		95	
Maximum Efficiency	%	95.6		95.8	
Communication					
Wired Local Monitoring		PVI-USB-RS485_232 (opt.)		PVI-USB-RS485_232 (opt.)	
Remote Monitoring		AURORA-UNIVERSAL (opt.)		AURORA-UNIVERSAL (opt.)	
AURORA String Combiner		PVI-STRINGCOMB-US (opt.)		PVI-STRINGCOMB-US (opt.)	
User Interface		16 Characters x 2 lines LCD display for each module		16 Characters x 2 lines LCD display for each module	
Standard Warranty	Years	5		5	
Protection Devices					
Input					
Overvoltage Protection		Yes; varistor		Yes; varistor	
PV Array Isolation Control		Fused, GFDI (UL1741) 1 per MPPT Input			
Number of Overvoltage Protection Inputs		1	2(1 per 50kW module)	1	2(1 per 50kW module)
Output					
Reverse Polarity Protection		Yes; series diode		Yes; series diode	
Overvoltage Protection		Yes; varistor		Yes; varistor	
AC Fusing		Yes, 3 per module		Yes, 3 per module	
AC Switch	kA	Yes; 65		Yes; 65	
General Data					
Inverter Switching Frequency	kHz	18		18	
Auxiliary Power Supply Connection Type		External Feed 15A/208 or 480 4-wire + PE		External Feed 15A/208 or 480 4-wire + PE	
Auxiliary Power Supply Consumption	% of P _{ac}	<0.40		<0.40	

- Regulador

Especificaciones eléctricas			
Modelos	C35	C40	C60
Configuraciones de voltaje	12 y 24 VCC	12, 24, y 48 VCC	12 y 24 VCC
Tensión máx. del conjunto en circuito abierto FV	55 VCC	125 VCC	55 VCC
Carga / Corriente de carga (a 25 °C)	35 amperios CC	40 amperios CC	60 amperios CC
Corriente pico máx.	85 amperios	85 amperios	85 amperios
Caída de tensión máx. a través del controlador	0,30 voltios	0,30 voltios	0,30 voltios
Consumo normal en funcionamiento	15 ma	15 ma	15 ma
Consumo normal en estado inactivo	3 ma	3 ma	3 ma
Tamaño de breaker recomendado	45 amperios	50 amperios	60 amperios a 100% funcionamiento continuo
Tamaño del cableado recomendado	#8 AWG	#8 AWG	#6 AWG
Instalaciones con baterías de plomo-ácido	Ajustable	Ajustable	Ajustable
Instalaciones con baterías de NiCad	Ajustable	Ajustable	Ajustable
Modo de control de carga	Reconexión de baja tensión - Ajustable (pegatina proporcionada junto con la unidad) en todos los modelos Desconexión de baja tensión - Reconexión automática o manual seleccionable por el usuario - incluye indicador de advertencia antes de la desconexión y proporciona un período de gracia para una vez seleccionable por el usuario) en todos los modelos		

Especificaciones generales			
Rango de temperatura especificado	0 °C a 40 °C (32 °F a 104 °F)		
Tipo de caja	ara uso en interiores, ventilado, de acero con revestimiento pulverizado con discos removibles de 3/4" y 1".		
Peso de la unidad	1,2 kg (2,5 lb)	1,4 kg (3,0 lb)	1,4 kg (3,0 lb)
Peso del envío	1,4 kg (3,0 lb)	1,6 kg (3,5 lb)	1,6 kg (3,5 lb)
Dimensiones (Al x An x F)	20,3 x 12,7 x 6,4 cm	25,4 x 12,7 x 6,35 cm	25,4 x 12,7 x 6,35 cm
	8,0 x 5,0 x 2,5"	10 x 5 x 2,5"	10 x 5 x 2,5"
Dimensiones del envío (Al x An x F)	31,5 x 17,8 x 6,4 cm	31,5 x 17,8 x 6,4 cm	31,5 x 17,8 x 6,4 cm
	12,4 x 7 x 2,5"	12,4 x 7 x 2,5"	12,4 x 7 x 2,5"
Montaje	Montaje vertical sobre pared - sólo en interiores		
Altitud - operativa	4.572 m (15.000')		
Altitud - no operativa	15.240 m (50.000')		
Garantía	2 años		
Números de referencia	C35, C40, C60 - Controladores		
	CM - Panel de visualización frontal		
	CM/R-50, CM/R-100 - Panel de visualización remoto		
	BTS - Sensor de temperatura de la batería		

Características y opciones	
Método de regulación	Tres etapas (en bruto, absorción y flotación), estado sólido, modulación de la anchura entre impulsos
Puntos de ajuste de control ajustables sobre el terreno	Dos puntos de ajuste de voltaje ajustables por el usuario para el control de cargas o fuentes de carga - el ajuste se mantiene si se desconecta la batería
Panel de visualización	CM, CM/R-50 ó CM/R-100 - pantalla LCD alfanumérica opcional con iluminación posterior que muestra el voltaje de la batería, el amperaje de CD, los amperios hora acumulados y los amperios hora desde la última puesta a cero - el dispositivo remoto incluye un cable de 15 m (50') ó 30,5 m (100')
Carga de compensación	Compensación automática cada 30 días o manual seleccionable por el usuario
Sensor de temperatura de la batería	BTS - sensor de temperatura de la batería remoto opcional para aumentar la precisión de carga

Annex B

A2. Codi de les simulacions realitzades.

Simulació 1.1

```
Set Hores {
  Index: h;
  Definition: {
    !Les 24 hores del dia!

Set Dies {
  Index: d;
  Definition: {
    !Els 365 dies de l'any!

Set Cases {
  Index: c;
  Definition: {
    ! Els 11 punts de consum a subministrar, és a dir els CUPS!

Parameter Consum {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Els consums de cada habitatge per dia i hora!

Parameter ConsumComu {
  IndexDomain: (d,h);
  Definition: {
    !Els consums de les zones comuns per dia i hora!

Variable ConsumCobert {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Els consums reals que han de cobrir cada habitatge assumint el cost
de les zones comuns!

    consum(c,d,h)+ (ConsumComu(d,h)/10)

Parameter PreuEnergia {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Preu de l'energia amb valor fix! (1)

Parameter PVPC {
  IndexDomain: (d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Preu de compra de l'energia per a cada dia i hora amb valor diferent! (2)

Variable CompraEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable calculada per cobrir el consum amb compra d'energia a xarxa!

Variable CostCompraEnergia {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
```

```

    !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

    sum(c, sum(d, sum (h, CompraEnergia(c,d,h)*PreuEnergia)))

Constraint BalancEnergia {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Definition: {
        !Restricció que estableix com es cobreix el consum!

        CompraEnergia(c,d,h)= ConsumCobert(c,d,h)

Variable CostTotal {
    Range: free;
    Definition: {
        !Càlcul del cost total de cobrir les necessitats energètiques de tot
        l'any!

        CostCompraEnergia

MathematicalProgram MinCost {
    Objective: CostTotal;
    Direction: minimize;
    Constraints: AllConstraints;
    Variables: AllVariables;
    Type: Automatic;

```

Simulació 1.2

El codi de la simulació 1.2 no s'inclou ja que l'única variació respecte l'1.1 es la compra que queda tal que:

```

Variable CostCompraEnergia {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

        sum (c, (sum(d, sum (h, CompraEnergia(c,d,h)*PVPC(d,h)))))

```

Simulació 2.1

```

Set Hores {
    Index: h;
    Definition: {
        !Les 24 hores del dia!

Set Dies {
    Index: d;
    Definition: {
        !Els 365 dies de l'any!

Set Cases {
    Index: c;
    Definition: {
        ! Els 11 punts de consum a subministrar, és a dir els CUPS!

Parameter Consum {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Els consums de cada CUPS en funció de casa dia i hora!

Parameter ConsumComu {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {

```

```
!Els consums de les zones comuns per dia i hora!

Variable ConsumCobert {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Els consums reals que han de cobrir cada habitatge assumint el cost
    de les zones comuns!

    consum(c,d,h)+ (ConsumComu(d,h)/10)

  }

Parameter PreuEnergia {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Preu de l'energia amb valor fix! (1)

Parameter PVPC {
  IndexDomain: (d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Preu de compra de l'energia per a cada dia i hora amb valor diferent! (2)

Variable CompraEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable calculada per cobrir el consum amb compra d'energia a xarxa!

Variable CostCompraEnergia {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

    sum (c, (sum(d, sum (h, CompraEnergia(c,d,h)*PreuEnergia))))

Parameter SuperficieDisponible {
  IndexDomain: c;
  Definition: {
    !Superfície disponible per a cada casa!

Parameter Irradiacio {
  IndexDomain: (d,h);
  Definition: {
    !Irradiacio sobre la zona en kW per cada hora!

Parameter RendimentFV {
  Definition: {
    !Rendiment del panell fotovoltaic!

Parameter Preupanell {
  Definition: {
    !Preu de un panell fotovoltaic!

Parameter Superficiepanell {
  Definition: {
    !Superfície de un panell fotovoltaic!

Parameter Potenciapanell {
  Definition: {
    !Potencia pic del panell fotovoltaic!

Parameter Vidapanell {
  Definition: {
    !Vida útil del panell fotovoltaic!
```

```

Variable SuperficieInstalada {
    IndexDomain: c;
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Variable de la superfície optima a instal·lar!

Constraint LimitInstalacioPV {
    IndexDomain: c;
    Definition: {
        !Restricció que limita la superfície màxima a instal·lar a cada casa!

        SuperficieInstalada(c) <= SuperficieDisponible(c)

Variable GeneracioEnergia {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Energia generada a cada casa en cada dia i hora!

Constraint GeneracioEnergia2 {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Definition: {
        !Equació que calcula l'energia generada!

        GeneracioEnergia(c,d,h) <=
Irradiacio(d,h) * RendimentFV * (Potenciapanell / Superficiepanell) * SuperficieInstal
ada(c)

Variable CostFV {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Cost del sistema de generació d'energia!

        sum
(c, (SuperficieInstalada(c)) * (PreuPanell / Superficiepanell) * (1 / Vidapanell))

Constraint BalancEnergia {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Definition: {
        !Restricció que estableix com es cobreix el consum!

        CompraEnergia(c,d,h) + GeneracioEnergia(c,d,h) = ConsumCobert(c,d,h)

Variable CostTotal {
    Range: free;
    Definition: {
        !Càlcul del cost total de cobrir les necessitats energètiques de tot
l'any!

        CostCompraEnergia + CostFV

MathematicalProgram MinCost {
    Objective: CostTotal;
    Direction: minimize;
    Constraints: AllConstraints;
    Variables: AllVariables;
    Type: Automatic;

```

Simulació 2.2

```

Set Hores {
    Index: h;
    Definition: {
        !Les 24 hores del dia!

Set Dies {

```

```
Index: d;
Definition: {
    !Els 365 dies de l'any!

Set Cases {
    Index: c;
    Definition: {
        ! Els 11 punts de consum a subministrar, és a dir els CUPS!

Parameter Consum {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Els consums de cada CUPS en funció de casa dia i hora!

Parameter ConsumComu {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Els consums de les zones comuns per dia i hora!

Variable ConsumCobert {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Els consums reals que han de cobrir cada habitatge assumint el cost
de les zones comuns!

        consum(c,d,h)+ (ConsumComu(d,h)/10)

Parameter PreuEnergia {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Preu de l'energia amb valor fix! (1)

Parameter PVPC {
    IndexDomain: (d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Preu de compra de l'energia per a cada dia i hora amb valor diferent! (2)

Variable CompraEnergia {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Variable calculada per cobrir el consum amb compra d'energia a xarxa!

Variable CostCompraEnergia {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

        sum (c, (sum(d, sum (h, CompraEnergia(c,d,h)*PreuEnergia))))

Parameter SuperficieDisponible {
    IndexDomain: c;
    Definition: {
        !Superfície disponible per a cada casa!

Parameter Irradiacio {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Irradiacio sobre la zona en kW per cada hora!

Parameter RendimentFV {
    Definition: {
```

```

!Rendiment del panell fotovoltaic!

Parameter Preupanell {
  Definition: {
    !Preu de un panell fotovoltaic!

Parameter Superficiepanell {
  Definition: {
    !Superfície de un panell fotovoltaic!

Parameter Potenciapanell {
  Definition: {
    !Potencia pic del panell fotovoltaic!

Parameter Vidapanell {
  Definition: {
    !Vida útil del panell fotovoltaic!

Variable SuperficieInstalada {
  IndexDomain: c;
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable de la superfície optima a instal·lar!

Constraint LimitInstalacioPV {
  IndexDomain: c;
  Definition: {
    !Restricció que limita la superfície màxima a instal·lar a cada casa!

    SuperficieInstalada(c) <= SuperficieDisponible(c)

Variable GeneracioEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Energia generada a cada casa en cada dia i hora!

Constraint GeneracioEnergia2 {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Definition: {
    !Equació que calcula l'energia generada!

GeneracioEnergia(c,d,h) <= Irradiacio(d,h) * RendimentFV * (Potenciapanell / Superfici
epanell) * SuperficieInstalada(c)

Variable CostFV {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Cost del sistema de generació d'energia!

    sum
(c, (SuperficieInstalada(c)) * (PreuPanell / Superficiepanell) * (1 / Vidapanell))

Parameter PreuVenta {
  Definition: {
    !Preu de venda de l'energia a la xarxa!

Variable VentaEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable calculada per exportar l'energia sobrant a la xarxa!

Variable BeneficiVenta {
  Range: nonnegative;

```

```
Definition: {
    !Càlcul del benefici de l'energia venuda a la xarxa!

    sum (c, sum (d, sum (h, VentaEnergia(c,d,h)*PreuVenta)))

Constraint BalancEnergia {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Definition: {
        !Restricció que estableix com es cobreix el consum!

        CompraEnergia(c,d,h)+GeneracioEnergia(c,d,h)=
        ConsumCobert(c,d,h)+VentaEnergia(c,d,h)

Variable CostTotal {
    Range: free;
    Definition: {
        !Càlcul del cost total de cobrir les necessitats energètiques de tot
        l'any!

        CostCompraEnergia + CostFV - BeneficiVenta

MathematicalProgram MinCost {
    Objective: CostTotal;
    Direction: minimize;
    Constraints: AllConstraints;
    Variables: AllVariables;
    Type: Automatic;
```

Simulació 2.3 i 2.4

El codi de la simulació 2.3 i 2.4 no s'inclou ja que l'única variació respecte la 2.1 i la 2.2 respectivament és la compra que queda tal que:

```
Variable CostCompraEnergia {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

        sum (c, (sum(d, sum (h, CompraEnergia(c,d,h)*PVPC(d,h))))))
```

Simulació 2.6

```
Set Hores {
    Index: h;
    Definition: {
        !Les 24 hores del dia!

Set Dies {
    Index: d;
    Definition: {
        !Els 365 dies de l'any!

Set Cases {
    Index: c;
    Definition: {
        ! Els 11 punts de consum a subministrar, és a dir els CUPS!

Parameter Consum {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Els consums de cada CUPS en funció de casa dia i hora!
```

```

Parameter ConsumComu {
  IndexDomain: (d,h);
  Definition: {
    !Els consums de les zones comuns per dia i hora!
Variable ConsumCobert {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Els consums reals que han de cobrir cada habitatge assumint el cost
de les zones comuns!

    consum(c,d,h)+ (ConsumComu(d,h)/10)

Parameter PreuEnergia {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Preu de l'energia amb valor fix! (1)

Parameter PVPC {
  IndexDomain: (d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Preu de compra de l'energia per a cada dia i hora amb valor diferent! (2)

Variable CompraEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable calculada per cobrir el consum amb compra d'energia a xarxa!

Variable CostCompraEnergia {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

    sum (c, (sum(d, sum (h, CompraEnergia(c,d,h)*PreuEnergia))))

Parameter SuperficieDisponible {
  IndexDomain: c;
  Definition: {
    !Superfície disponible per a cada casa!

Parameter Irradiacio {
  IndexDomain: (d,h);
  Definition: {
    !Irradiacio sobre la zona en kW per cada hora!

Parameter RendimentFV {
  Definition: {
    !Rendiment del panell fotovoltaic!

Parameter Preupanell {
  Definition: {
    !Preu de un panell fotovoltaic!

Parameter Superficiepanell {
  Definition: {
    !Superfície de un panell fotovoltaic!

Parameter Potenciapanell {
  Definition: {
    !Potencia pic del panell fotovoltaic!

Parameter Vidapanell {
  Definition: {
    !Vida útil del panell fotovoltaic!

```



```
Variable SuperficieInstalada {
  IndexDomain: c;
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable de la superfície optima a instal·lar!

Constraint LimitInstalacioPV {
  IndexDomain: c;
  Definition: {
    !Restricció que limita la superfície màxima a instal·lar a cada casa!

    SuperficieInstalada(c) <= SuperficieDisponible(c)

Variable GeneracioEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Energia generada a cada casa en cada dia i hora!

Constraint GeneracioEnergia2 {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Definition: {
    !Equació que calcula l'energia generada!

GeneracioEnergia(c,d,h) <= Irradiacio(d,h) * RendimentFV * (Potenciapanell / Superfici
epanel) * SuperficieInstalada(c)

Variable CostFV {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Cost del sistema de generació d'energia!

    sum
(c, (SuperficieInstalada(c)) * (PreuPanell / Superficiepanel) * (1 / Vidapanell))

Parameter PreuVenta {
  Definition: {
    !Preu de venda de l'energia a la xarxa!

Variable VentaEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Variable calculada per exportar l'energia sobrant a la xarxa!

Variable BeneficiVenta {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Càlcul del benefici de l'energia venuda a la xarxa!

    sum (c, sum (d, sum (h, VentaEnergia(c,d,h) * PreuVenta)))

Parameter PreuBateria {
  Definition: {
    !Cost d'emmagatzemar 1kWh o preu de compra d'una bateria de 1kWh!

Parameter VidaBateria {
  Definition: {
    !Vida útil de la bateria!

Variable BateriaInstalada {
  IndexDomain: c;
  Range: nonnegative;
  Definition: {
```

```

!Nombre de bateries de 1kWh que s'haurien d'instal·lar!

Variable EnergiaAcumulada {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Energia acumulada a les bateries a cada casa en cada dia i hora!

Constraint BateriaInstalada2 {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Definition: {
    !Restricció que indica que el nombre de kWh instal·lats per
    emmagatzematge en cada casa han de ser superiors que l'energia emmagatzemada
    per dia i hora!

    BateriaInstalada(c) >= EnergiaAcumulada(c,d,h)

Constraint EnergiaAcumuladaInicial {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Definition: {
    !Restricció que inicia la energia acumulada a 0!

    EnergiaAcumulada(c,d,h | ord (d)=1 and ord (h)=1) = 0

Variable CostBateries {
  Range: nonnegative;
  Definition: {
    !Cost del sistema d'acumulació d'energia!

    sum(c, BateriaInstalada(c)*PreuBateria*(1/Vidabateria))

Constraint BalancEnergia {
  IndexDomain: (c,d,h);
  Definition: {
    !Restricció que estableix com es cobreix el consum!
    if (ord (h)=24) then
      CompraEnergia(c,d,h)+GeneracioEnergia(c,d,h)+EnergiaAcumulada(c,d,h)=
      Consumcobert(c,d,h)+VentaEnergia(c,d,h)+EnergiaAcumulada(c,d+1,h-23)
    else
      CompraEnergia(c,d,h)+GeneracioEnergia(c,d,h)+EnergiaAcumulada(c,d,h)=
      Consumcobert(c,d,h)+VentaEnergia(c,d,h)+EnergiaAcumulada(c,d,h+1)
    endif

Variable CostTotal {
  Range: free;
  Definition: {
    !Càlcul del cost total de cobrir les necessitats energètiques de tot
    l'any!

    CostCompraEnergia + CostFV-BeneficiVenta + CostBateries

MathematicalProgram MinCost {
  Objective: CostTotal;
  Direction: minimize;
  Constraints: AllConstraints;
  Variables: AllVariables;
  Type: Automatic;

```

Simulació 3.6

```

Set Hores {
  Index: h;
  Definition: {
    !Les 24 hores del dia!

Set Dies {

```

```
Index: d;
Definition: {
    !Els 365 dies de l'any!

Set Cases {
    Index: c;
    Definition: {
        ! Els 11 punts de consum a subministrar, és a dir els CUPS!

Parameter Consum {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Els consums de cada CUPS en funció de casa dia i hora!

Parameter ConsumComu {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Els consums de les zones comuns per dia i hora!

Variable ConsumCobert {
    IndexDomain: (c,d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Els consums reals que han de cobrir cada habitatge assumint el cost
de les zones comuns!

        consum(c,d,h)+ (ConsumComu(d,h)/10)

Parameter PreuEnergia {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Preu de l'energia amb valor fix! (1)

Variable CompraEnergia {
    IndexDomain: (d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Variable calculada per cobrir el consum amb compra d'energia a xarxa!

Variable CostCompraEnergia {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Càlcul del cost de l'energia comprada a la xarxa!

        (sum(d, sum (h, CompraEnergia(d,h)*PreuEnergia)))

Parameter SuperficieDisponible {
    IndexDomain: c;
    Definition: {
        !Superfície disponible per a cada casa!

Parameter SuperficieTotal {
    Definition: {
        !Sumatori de les superfícies disponibles de cada casa!

        sum (c, SuperficieDisponible(c))

Parameter Irradiacio {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Irradiació sobre la zona en kW per cada hora!

Parameter RendimentFV {
    Definition: {
```

```

    !Rendiment del panell fotovoltaic!

Parameter Preupanell {
    Definition: {
        !Preu de un panell fotovoltaic!

Parameter Superficiepanell {
    Definition: {
        !Superfície de un panell fotovoltaic!

Parameter Potenciapanell {
    Definition: {
        !Potencia pic del panell fotovoltaic!

Parameter Vidapanell {
    Definition: {
        !Vida útil del panell fotovoltaic!

Variable SuperficieInstalada {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Variable de la superfície optima a instal·lar!

Constraint LimitInstalacio {
    Definition: {
        !Restricció que indica que la superfície instal·lada no pot ser
superior a la total disponible!

        SuperficieInstalada<=SuperficieTotal

Variable GeneracioEnergia {
    IndexDomain: (d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Energia generada a cada casa en cada dia i hora!

Constraint GeneracioEnergia2 {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Equació que calcula l'energia generada!

GeneracioEnergia(d,h)<=Irradiacio(d,h)*RendimentFV*(Potenciapanell/Superficiep
anell)*SuperficieInstalada

Variable CostFV {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Cost del sistema de generació d'energia!

        (SuperficieInstalada*(PreuPanell/Superficiepanell)*(1/Vidapanell))

Parameter PreuVenta {
    Definition: {
        !Preu de venta de l'energia a la xarxa!

Variable VentaEnergia {
    IndexDomain: (d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Variable calculada per exportar l'energia sobrant a la xarxa!

Variable BeneficiVenta {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Càlcul del benefici de l'energia venuda a la xarxa!

```

```

sum (d, sum (h, VentaEnergia(d,h)*PreuVenta))

Parameter PreuBateria {
    Definition: {
        !Cost d'emmagatzemar 1kWh o preu de compra d'una bateria de 1kWh!

Parameter VidaBateria {
    Definition: {
        !Vida útil de la bateria!

Variable BateriaInstalada {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Nombre de bateries de 1kWh que s'haurien d'instal·lar!

Variable EnergiaAcumulada {
    IndexDomain: (d,h);
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Energia acumulada a les bateries en cada dia i hora!

Constraint BateriaInstalada2 {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Restricció que indica que el nombre de kWh instal·lats per
emmagatzematge han de ser superiors que l'energia emmagatzemada per dia i
hora!

        BateriaInstalada>=EnergiaAcumulada(d,h)

Constraint EnergiaAcumuladaInicial {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Restricció que inicia la energia acumulada a 0!

        EnergiaAcumulada(d,h|ord (d)=1 and ord (h)=1)=0

Variable CostBateries {
    Range: nonnegative;
    Definition: {
        !Cost del sistema d'acumulació d'energia!

        BateriaInstalada*PreuBateria*(1/Vidabateria)

Constraint BalancEnergia {
    IndexDomain: (d,h);
    Definition: {
        !Restricció que estableix com es cobreix el consum!
        if (ord (h)=24) then
            CompraEnergia(d,h)+GeneracioEnergia(d,h)+EnergiaAcumulada(d,h)=sum (c,
Consumcobert(c,d,h))+VentaEnergia(d,h)+EnergiaAcumulada(d+1,h-23)
        else
            CompraEnergia(d,h)+GeneracioEnergia(d,h)+EnergiaAcumulada(d,h)= sum
(c,Consumcobert(c,d,h))+VentaEnergia(d,h)+EnergiaAcumulada(d,h+1)
        endif

Variable CostTotal {
    Range: free;
    Definition: {
        !Càlcul del cost total de cobrir les necessitats energètiques de tot
l'any!

        CostCompraEnergia+CostFV-BeneficiVenta+CostBateries

MathematicalProgram MinCost {

```

```
Objective: CostTotal;  
Direction: minimize;  
Constraints: AllConstraints;  
Variables: AllVariables;  
Type: Automatic;
```